CONSEIL
GÉOSCIENTIFIQUE
CANADIEN

Le Quaternaire au Canada

Situation actuelle, exigences nationales et orientation future

Préparé par le
Conseil géoscientifique canadien

Publié pour le compte du Conseil
par la Commission géologique du
Canada en tant que l'Étude 87-18

Canada

88-02362/

COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
ÉTUDE 87-18

LE QUATERNAIRE AU CANADA

Situation actuelle, exigences nationales et orientation future

Préparé par le

Comité chargé du rapport

Président: J.B. Bird

Membres: E.A. Christiansen, L.A. Dredge,
C. Hillaire-Marcel, W.O. Kupsch, J. Locat,
A.V. Morgan, P.J. Mudie, D.A. St. Onge,
O. Slaymaker, A.M. Stalker

1987

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés et autres librairies

ou par la poste au

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

et aussi aux:

Bureaux de la Commission géologique du Canada,

601, rue Booth,
Ottawa, K1A 0E8

3303-33rd Street N.W
Calgary (Alberta) T2L 2A7

100 West Pender Street
Vancouver (Colombie-Britannique) V6B 1R8

Un exemplaire en consignation de la présente publication est également disponible dans les bibliothèques publiques à travers le Canada.

N° de catalogue M44-87/18F Canada: $5.00
ISBN-0-660-92202-9 Hors Canada: $6.00

Prix sujet à changement sans avis préalable

Also available in English

TABLE DES MATIÈRES

1	1.	Introduction
1	1.1	Terminologie
2	1.2	Repérage des quaternaristes
2	1.3	Remerciements
3	2.	Conclusions et recommendations
3	2.1	Sommaire et conclusions
5	2.2	Recommandations
6	3.	Nature du Quaternaire
7	4.	Débuts de la géologie du Quaternaire au Canada
8	5.	Disciplines du Quaternaire Évolution et situation actuelle
9	5.1	Stratigraphie du Quaternaire
10	5.2	Processus et modelés
11	5.2.1	Processus et modelés: glaciaires et proglaciaires
11	5.2.2	Processus et modelés: périglaciaires (incluant le pergélisol)
12	5.2.3	Processus et modelés: études de pentes et d'érosion dans le sud du Canada
12	5.2.4	Processus et modelés: marins et littoraux
13	5.3	Niveaux marins
13	5.3.1	Niveaux marins au Quaternaire
13	5.3.2	Niveaux marins postglaciaires (holocènes)
14	5.3.3	Variations du niveau marin au Pléistocène tardif
14	5.4	Disciplines scientifiques connexes liées à la géologie du Quaternaire
14	5.4.1	Glaciologie
15	5.4.2	Données océaniques
16	5.4.3	Géomagnétisme du Quaternaire
17	5.4.4	Paléoclimatologie
18	5.4.5	Paléoécologie
19	5.4.6	Palynologie
20	5.4.7	Téphrochronologie
20	5.4.8	Paléopédologie
21	5.4.9	Paléohydrologie
22	5.4.10	Néotectonique
23	5.4.11	Archéologie de l'environnement
24	5.5	Reconstitution des environnements quaternaires
25	5.6	Collaboration
26	6.	Applications de la géologie du Quaternaire
26	6.1	Travaux géotechniques
27	6.2	Travaux de terrain
27	6.3	Géochimie d'exploration
27	6.4	Ressources non métalliques du Quaternaire
28	6.5	Placers
28	6.6	Sols agricoles
28	6.7	Aménagement du territoire (accidents naturels)
28	6.8	Aspect pratique du travail des quaternaristes
28	6.9	Recommadation: géologie appliquée
28	7.	La profession de quaternariste
29	7.1	Expérience de travail et âge des quaternaristes
29	7.2	Répartition géographique
30	7.3	Spécialisation selon les disciplines
30	7.4	Spécialisation selon les environnements étudiés
31	7.5	Spécialisation selon les terrains étudiés

31 7.6 Recherche en cours à l'extérieur de l'Amérique du Nord
32 7.7 Fonctions du quaternariste
32 7.8 Le Quaternaire au gouvernement fédéral
32 7.8.1 La Commission géologique du Canada
33 7.8.2 Le Quaternaire dans d'autres ministères fédéraux
34 7.9 Le Quaternaire dans les gouvernements provinciaux
34 7.10 Contribution des musées à la recherche en géologie du Quaternaire
35 7.11 Perspectives d'avenir
35 7.11.1 Adhésion à un corps professionnel
37 7.11.2 Les finissants en Quaternaire et le marché de l'emploi
37 8. Études et formation en Quaternaire
37 8.1 Introduction
38 8.2 Études en géologie du Quaternaire dans les universités canadiennes
39 8.2.1 Formation au niveau du premier cycle
39 8.2.2 Formation au niveau des études supérieures
41 8.3 Centres d'excellence en Quaternaire
42 9. Orientations de la recherche en Quaternaire au Canada
42 9.1 Environnements holocènes
43 9.2 Inlandsis pléistocènes
43 9.3 Sédimentologie
43 9.4 Intervalles pléistocènes non glaciaires
43 9.5 Sujets de recherche globaux
44 10. Financement de la recherche
44 10.1 Subventions de recherche gouvernementales
44 10.2 Appui universitaire
44 10.3 Pertinence du financement
45 10.4 Financement des projets multidisciplinaires en régions éloignées
45 11. Installations et services spécialisés
46 11.1 Ressources documentaires
47 11.2 Laboratoires
47 11.2.1 Laboratoires de datation au carbone radioactif
47 11.2.2 Spectrométrie de masse
48 11.2.3 Autres techniques de datation
49 11.2.4 Autres laboratoires
49 11.3 Télédétection
50 12 Interdépendance des disciplines du Quaternaire
50 12.1.1 Publications scientifiques (revues)
51 12.1.2 Autres publications
52 12.2 Associations scientifiques
52 12.2.1 Associations scientifiques au Canada
52 12.2.2 Contribution canadienne aux associations internationales
53 13. La présence du Quaternaire dans la société

Annexes

54 1. Questionnaire posté aux scientifiques canadiens
56 2. Sommaire: distribution du questionnaire et nombre de réponses reçues
57 3. Soutenances de doctorats dans le domaine de la géologie du Quaternaire
59 4. Thèses de maîtrise dans le domaine du Quaternaire
63 5. Sélection d'ouvrages rédigés par des quaternaristes canadiens durant la décennie 1976-1985

LE QUATERNAIRE AU CANADA

Situation actuelle, exigences nationales et orientations futures

1 Introduction

La géologie du Quaternaire a connu une expansion accélérée, quasi explosive, au cours des vingt-cinq dernières années. Lors des congrès internationaux de géologie et de géographie tenus à Montréal en 1972, la présentation de projets portant sur le Quaternaire a constitué une partie importante des procès-verbaux. Malgré cela, peu de participants auraient pu prévoir qu'au cours des quinze années suivantes, les innovations dans le domaine du Quaternaire seraient si révolutionnaires que leur incidence sur les sciences de la Terre ne pourrait être comparée qu'avec la théorie de la tectonique des plaques dont l'impact remontait à la décennie précédente. Nous avons été amenés à prendre conscience de la diversité des environnements quaternaires et céozoïques tardifs, de beaucoup supérieure à ce que l'on avait d'abord cru. Une multitude de glaciations se sont produites en haute altitude et les autres régions de la terre ont été touchées par les variations climatiques et fauniques reliées à ces épisodes. Durant cet intervalle prolongé, les ancêtres de l'homme ont évolué physiquement, culturellement et socialement au sein d'un monde en constante mutation. Au Canada, l'augmentation rapide du nombre de laboratoires et de scientifiques oeuvrant dans les universités et les institutions gouvernementales au cours des années 60 a commencé à ralentir dans les années 70 en raison de contraintes budgétaires. Par conséquent, le besoin croissant, aux niveaux national et international, d'analyses et d'interprétations d'événements quaternaires, a exigé beaucoup des scientifiques de cette discipline qui devaient en restreindre la demande.

1.1 Terminologie

Afin de déterminer l'efficacité avec laquelle les institutions et les scientifiques canadiens ont répondu à l'essor du Quaternaire au cours des dernières années, le Conseil canadien des sciences de la Terre a créé en 1983, un comité pour évaluer:

1. la situation de la recherche en Quaternaire au Canada,
2. les exigences nationales en matière de recherche en Quaternaire,
3. l'efficacité avec laquelle le milieu de l'éducation, le gouvernement et l'industrie répondent actuellement à cette demande et
4. les orientations futures de la géologie du Quaternaire.

Les membres du comité sont:

Président: W.O. Kupsch (Saskatoon), jusqu'en décembre 1983
J.B. Bird (Montréal), à partir de décembre 1983

Secrétaire: O. Slaymaker (Vancouver)

Membres:

E.A. Christiansen (Saskatoon)
L. Dredge (Ottawa), a succédé à D. St-Onge en juin 1984
C. Hillaire-Marcel (Montréal)
J. Locat (Québec)
A.V. Morgan (Waterloo)
P.J. Mudie (Dartmouth)
A.M. Stalker (Ottawa)

Lors des premières discussions du comité, les quaternaristes se sont accordé sur la situation de cette discipline au Canada et les orientations souhaitables dans un avenir prochain. Par conséquent, ce rapport a été élaboré dans le but d'informer les géologues de diverses spécialités, les universités, les groupes d'action en matière scientifique et la communauté internationale de recherche en Quaternaire, de la nature et du statut de la géologie du Quaternaire au Canada au moment de la réunion de l'INQUA en 1987.

Dans ce rapport, les termes travaux quaternaires, Quaternaire et géologie du Quaternaire ne sont pas interchangeables. Il est accepté que le degré de spécificité croît du premier au dernier terme. Nous reconnaissons cependant que dans le cas de recherches interdisciplinaires, toute tentative visant à tracer des frontières entre les domaines comporte des

risques d'erreur auxquels le Quaternaire n'est pas à l'abri.

1.2 Repérage des quaternaristes

À sa première réunion, le comité a décidé de recourir à un questionnaire afin de réunir la plupart des données nécessaires. Cinquante-neuf questions regroupées en cinq sections ont été posées aux répondants (Annexe 1). La partie 1 visait à recueillir des renseignements sur le travail personnel des scientifiques, la partie 2, sur leur perception de la recherche en d'autres domaines et la partie 3, sur l'incidence de la recherche en Quaternaire à l'échelle nationale. La partie 4 s'adressait aux scientifiques à l'emploi du gouvernement ou de l'industrie et la partie 5, aux scientifiques universitaires.

Les adresses des destinataires ont été obtenues par le biais de listes de membres fournies par des sociétés géologiques et des associations et groupes divers. Le nom de scientifiques n'ayant pas de lien direct avec la recherche en Quaternaire apparaissait dans de nombreuses listes mais plutôt que de rejeter le nom de répondants éventuels, la liste finale a été élaborée de façon à comprendre le plus de noms possible. Après élimination des répétitions, 984 questionnaires ont été distribués et 17% d'entre eux (164) ont été retournés (Annexe 2). On peut considérer que la réponse dans les secteurs universitaire et governemental est satisfaisante et représentative. Treize pour cent seulement des réponses provenaient de l'industrie ou de consultants. Il est probable que ce groupe sera sous-représenté, principalement à cause de la difficulté à en identifier les membres à partir de listes d'adresses et aussi parce qu'un grand nombre de ceux qui ont reçu le questionnaire n'ont probablement pas cru qu'ils étaient associés au Quaternaire (les spécialistes en aménagement du territoire par exemple).

L'Association canadienne pour l'étude du Quaternaire (CANQUA) comptait environ 300 membres (y compris les membres étrangers) vers la fin de 1985. À cette époque, 231 scientifiques canadiens avaient manifesté l'intention de participer à la réunion de l'Association internationale pour l'étude du Quaternaire (INQUA) à Ottawa, en 1987. Ces données indiquent que 300 à 400 scientifiques candiens considèrent qu'ils appartiennent au domaine du Quaternaire. On peut affirmer qu'environ la moitié du groupe a répondu au questionnaire.

1.3 Remerciements

Le questionnaire a été élaboré par le comité, sous la direction du premier président. Les données du rapport ont été réunies par le deuxième président, à partir d'analyses statistiques et de rapports initiaux préparés par les membres du comité dans chaque région: Cordillère (O.S.), Prairies (E.A.C. et A.M.S.), Ontario (A.V.M.), Québec (C.H.-M. et J.L.), Provinces maritimes (P.J.M.), Grand Nord (L.D.).

Nous souhaitons remercier tous les répondants pour leur temps, leur intérêt et les réponses, souvent détaillées, à nos nombreuses questions.

Nous désirons également mentionner la contribution de certains quaternaristes qui ont décrit pour nous les domaines et la situation de spécialités reliées au Quaternaire. Leurs observations, auxquelles le comité a parfois apporté des modifications afin de satisfaire les exigences de ce rapport et pour lesquelles il est seul responsable, figurent dans ce rapport, particulièrement dans la section traitant des progrès récents en Quaternaire. Ce sont: J. Adams (néotectonique), J.T. Andrews (géologie du Pléistocène), J.C. Driver (paléopédologie), J.D. Jacobs (paléoclimatologie), C.R. Harington (travaux muséologiques en Quaternaire), J.B. Macpherson (palynologie), C.S.L. Ommaney (glaciologie), J.T. Parry (télédétection) et J.A. Westgate (téphrochronologie).

Nos remerciements s'adressent également aux collègues, particulièrement ceux de la Commission géologique du Canada, qui ont lu les ébauches du rapport en cours de préparation et y ont apporté leurs commentaires. W. Blake Jr. (CGC) nous a fournit des renseignements pour la section 11.2 sur les laboratoires.

Le comité remercie de leur aide financière le Conseil canadien des sciences de la Terre, le ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada et les universités auxquelles plusieurs membres du comité sont associés.

Les étapes de la production des ébauches et du rapport final ont été confiées à Maria Marcone et Pauline Gyorkos (traitement de textes) et Abal Sen (cartographie). L'analyse statistique et le traitement des données de plusieurs annexes ont été effectués par Thom Gallie (U.C-B) et Paul MacLean (McGill).

2 Conclusions et recommendations

2.1 Sommaire et conclusions

1. Les reliefs du paysage canadien remontent au Quaternaire. La plupart des dépôts superficiels terrestres, tous les types de relief à l'exception uniquement des unités les plus importantes et le fond marin des bassins océaniques et des espaces séparant les plate-formes continentales adjacentes ont été modelés par des événements quaternaires. La géologie du Quaternaire a pour objectifs l'identification, la description et l'interprétation des brusques variations environnementales et des processus associés qui remontent à deux millions d'années. Les travaux quaternaires comprennent aussi l'interprétation des caractéristiques fondamentales des environnements actuels qui sont d'une importance considérable dans l'amélioration de la qualité de la vie et de la croissance économique du Canada. La compréhension des conditions actuelles et des événements antérieurs est un outil permettant de prédire les variations futures de l'environnement, qu'elles soient d'origine naturelle ou provoquées par l'action humaine.

2. Les quinze dernières années ont connu une expansion spectaculaire des méthodes de collecte des données quaternaires ainsi que l'élargissement des objectifs et des concepts régissant les travaux quaternaires. Des progrès ont été enregistrés mondialement dans tous les domaines et sont caractérisés par les trois aspects suivants:

   i) la reconnaissance de la durée, du nombre et de la complexité des cycle climatiques associés aux glaciations continentales du Cénozoïque tardif,

   ii) un accroissement notable de la recherche effectuée en environnemen holocène,

   iii) l'association de nombreuses disciplines scientifiques connexes entraînant une façon globaliste d'envisager les changements environnementaux du Quaternaire.

3. La qualité et la quantité des études quaternaires canadiennes est impressionnate compte tenu de la taille du pays et du nombre de question à résoudre.

4. De 300 à 400 scientifiques canadiens considèrent qu'ils sont des quaternaristes. Le rendement de leurs travaux de recherche se compare favorablement avec celui d'autres disciplines importantes des sciences de la Terra. Cependant, le nombre total de projets de recherche est peu élevé en fonction de la taille du pays et de l'ampleur des problèmes.

5. Au cours de la dernière décennie, le rendement des projets de recherche en Quaternaire semble s'être accru de façon marginale, quoique erratique, dans différentes régions. Une diminution de la recherche effectuée par les organismse gouvernementaux est compensée par une augmentation dans le secteur universitaire. Bien que le niveau de l'activité économique nationale et les programmes de financement gouvernementaux puissent expliquer la stagnation, celle-ci est fâcheuse à la lueur de l'étude de 1971 du Conseil des sciences (rapport Blais) qui recommandait fortement l'expansion de certains sous-domaines du Quaternaire, comme la glaciologie, les études de terrain, de muskeg et de pergélisol ainsi que la recherche fondamentale en Quaternaire.

6. La majorité des quaternaristes, bien que cela représente un nombre assez modeste, est engagée dans des projets de recherche portant sur les sédiments et les formes de relief (cartographie régionale, stratigraphie ainsi que sédimentologie et géomorphologie glaciaires). Dans d'autres domaines, comme la glaciologie, la paléoclimatologie (au sens strict), la sédimentologie marine quaternaire, le paléopergélisol et de nombreux aspects de la paléobiologie, des études ponctuelles sont menées à l'extérieur du gouvernement fédéral.

7. Deux secteurs ressortent sur le plan du nombre limité de projets de recherche, ce sont le Grande Nord et le fond marin ceinturant le Canada (zones littorales, plate-formes continentales et bassins océaniques profonds). Si ce n'était de la participation des organismes gouvernementaux fédéraux, particulièrement la Commission géologique du Canada, la recherche serait quasi inexistante dans ces régions.

8. Le succès de la recherche en Quaternaire repose sur la collaboration entre les scientifiques de différentes spécialités. Bien que les scientifiques reconnaissent ce fait, la collaboration est entravée par le cloisonnement

entre les domaines du Quaternaire dans les différents organismes gouvernementaux et les universités.

9. Le Quaternaire appliqué peut contribuer considérablement à l'aménagement et à l'exploitation des ressources nationales, entre autres, les ressources minérales, la foresterie, les sols agricoles, la géotechnique, l'aménagement urbain et territorial, y compris la prédiction des accidents naturels.

10. Le groupe de quaternaristes le plus important est affilié à la Commission géologique du Canada. Ce groupe est le seul à disposer de suffisamment de personnel et de ressources interdisciplinaires pour s'approcher de la notion de centre d'excellence.

11. Les musées jouent un rôle important dans la recherche en Quaternaire et la sensibilisation du public dans ce domaine.

12. La communauté scientifique en Quaternaire n'est pas en faveur d'une accréditation professionnelle ni de l'adhésion à un corps professionnel.

13. L'essor du Quaternaire au Canada sera accéléré par sa reconnaissance plus large en tant que domaine d'enseignement et de recherche universitaires et par une réponse plus enthousiaste quant à la valeur de son enseignement par le biais d'une sensibilisation accrue du public à la pertinence et l'attrait de cette discipline.

14. Bien qu'un grand nombre d'universités dispense un large éventail de cours spécialisés en Quaternaire dans le domaine de la physique, de la biologie et des sciences humaines, des cours interdisciplinaires appropriés sont rarement élaborés. Les étudiant du premier cycle reçoivent une formation préliminaire insuffisante, particulièrement ceux qui se dirigent vers des disciplines professionnelles ou qui s'y trouvent déjà (ingénierie, aménagement et foresterie par exemple). Trop peu d'étudiants doués sont mis au courant, alors qu'ils sont au premier cycle, des défis intéressants du Quaternaire et par conséquent, n'accèdent pas aux études supérieures. L'appartenance des disciplines quaternaires à des départements traditionnels a freiné la croissance et l'efficacité de cette science.

15. Plus de 130 thèses de 2e et 3e cycles en Quaternaire ont été rédigées dans les universités canadiennes au cours de la période de cinq ans se terminant en 1984.

16. Les finissants au niveau de la maîtrise trouveront plus facilement de l'emploi dans des domaines connexes, comme l'aménagement du territoire. Dans certaines régions, principalement en Alberta, la recherche d'un emploi adéquat présente des difficultés. Les demandes d'adhésion au doctorat correspondent approximativement au nombre de sujets disponibles.

17. Bien que les quaternaristes ne soient pas favorables à la création d'un "centre d'excellence" national voué à l'enseignement et à la recherche, de forts arguments militent en faveur de la création de centres régionaux.

18. Les opinions s'accordent assez bien pour affirmer que les quatre avenues de recherche les plus prometteuses actuellement portent sur: i) une meilleure compréhension des changements environnementaux holocènes, d'origine naturelle et causés par l'action de l'homme, ii) les aspects glaciologiques des inlandsis pléistocènes, iii) les processus actifs en environnement glaciaire et périglaciaire et iv) la compréhension des relations entre les événements quaternaires terrestres et marins.

19. Bien qu'une majorité de quaternaristes croit que des projets de recherche plus nombreux et de qualité supérieure seraient entrepris si la recherche était plus facilement subventionnée, la pénurie de fonds n'est pas un obstacle majeur à l'expansion de la discipline, sauf dans le cas de deux exceptions notables exigeant des moyens logistiques coûteux. La première est l'élaboration d'importants projets de recherche multidisciplinaires et non gouvernementaux dans le Grand Nord. Des projets universitaires fructueux démontrent qu'il est possible d'être financé mais pour cela, des scientifiques exceptionnellement compétents doivent s'attendre à consacrer une quantité considérable de temps à l'obtention d'un financement important. Le deuxième domaine dont l'expansion est difficile est le Quaternaire marin. Les coûts et le manque de flexibilité inévitable de l'appui gouvernemental en matière d'embarcations marines, lorsqu'il est accordé, en font un domaine où les chercheurs

universitaires indépendants évoluent avec difficulté.

20. Pratiquement toutes les études en Quaternaire exigent des laboratoires spécialisés. Des lacunes aux niveaux national et régional existent dans pratiquement tous les types de laboratoires.

21. Une association nationale efficace serait indispensable à l'étude du Quaternaire au Canada. La réorganisation et l'expansion de CANQUA et la croissance d'associations régionales (AQQUA) devraient répondre à cette exigence, particulièrement si des spécialistes de domaines connexes sont intéressés à y adhérer (voir l'éventail des spécialités de l'INQUA).

22. Les bulletins et publications éphémères devraient mettre l'accent sur la diffusion rapide et anticipée des résultats de recherches préliminaires.

23. Les quaternaristes se sont surtout penchés sur la collecte des données, notamment la cartographie et les analyses détaillées de problèmes précis aux échelles locale et régionale. La publication de synthèses par sujets et par secteurs géographiques est une exigence encore insatisfaite. L'ouvrage à paraître sur la géologie du Quaternaire au Canada et au Groënland pourra améliorer la situation mais la demande en livres canadiens persistera.

24. Les quaternaristes canadiens contribuent considérablement à l'essor de la communauté scientifique internationale en participant à des organismes internationaux et en menant des études dont les vastes aires d'application couvrent des problèmes communs à d'autres pays.

25. Bien que les applications du Quaternaire à l'échelle nationale semblent évidentes aux nombreux spécialistes, ceux-ci n'ont pas saisi l'importance d'un dialogue avec la société et consacrent peu de temps à la discussion et à l'explication du rôle du Quaternaire dans la croissance nationale.

2.2 Recommandations

Le sommaire et la conclusion ci-dessus contiennent des propositions de changements qui devraient être apportés dans le domaine du Quaternaire au Canada.

Le comité recommande que la communauté des spécialistes canadiens en sciences de la Terre, grâce aux efforts déployés par le Conseil canadien des sciences de la Terre, les différentes associations et sociétés géologiques et les scientifiques eux-mêmes, encourage les aspects suivants:

1. Accroissement de la recherche en Quaternaire dans le Grand Nord et les régions littorales et marines.

2. Incitation de la recherche en environnement holocène afin de mieux comprendre l'aspect analytique des changements environnementaux actuels.

3. Insistance des quaternaristes engagés dans l'enseignement universitaire sur les événements holocènes et les données géologiques relatives au Quaternaire marin.

4. Recconnaissance par les étudiants intéressés aux processus géologiques actuels de l'influence du Quaternaire sur le relief.

5. Établissement de centres d'excellence régionaux offrant des possiblités d'enseignement, de recherche, des bibliothèques et des laboratoires.

6. Harmonisation des disciplines théoriques universitaires afin d'élaborer des programmes et des cours multidisciplinaires sur le Quaternaire.

7. Collaboration accrue entre les quaternaristes qui étudient les milieux littoraux et marins.

8. Addition et extension de cours multidisciplinaires sur l'histoire et la morphologie des environnements quaternaires dans le cadre de la formation professionnelle dans les domaines de l'ingénierie, de la foresterie, des sols et des nombreux types d'aménagement (régional, territorial, urbain, gestion des terres, exploitation des ressources).

9. Intensification de l'enseignement et de la recherche dans les nouveaux domaines du Quaternaire, comme la glaciologie et la paléoclimatologie.

10. Expansion des activités organisées par les associations quaternaire nationales (CANQUA) et régionales.

11. Publication d'ouvrages scientifiques et d'un éventail de documentation vulgarisée décrivant

les nombreux aspects du Quaternaire au Canada.

12. Participation accrue des quaternaristes à des projets internationaux au Tiers- Monde, notamment en Quaternaire appliqué.

13. Élaboration de collections et d'expositions sur le Quaternaire dans les musées publics et les centres de recherche.

3 Nature du Quaternaire

Le Quaternaire a été identifié par les géologues du dix-neuvième siècle comme étant la quatrième et dernière période de l'histoire de la Terre, ainsi que la plus brève. On lui associait à l'époque des caractéristiques inhabituelles, les plus saisissantes étant des changements climatiques importants et rapides associés aux vastes glaciations, à haute et moyenne altitude. On lui attribuait en outre un caractère unique puisque c'est durant cette période que la faune et la flore terrestres ont commencé à ressembler aux assemblages contemporains, surtout en ce qui a trait aux ancêtres de l'homme qui se sont développés sur la Terre durant le Quaternaire et dont l'évolution a culminé avec l'apparition de l'Homme (Homo sapiens).

L'amplitude des modifications subies au Quaternaire par les milieux terrestres naturels a d'abord été évaluée d'après l'échelle des oscillations des glaciers alpins européens. L'estimation de l'étendue de la glaciation continentale durant "l'âge glaciaire" et l'influence sur l'homme et les espèces vivantes des changements rapides et extrêmes survenus au Pléistocène ont rapidement suivi. Il y a plus d'un siècle, le géologue écossais, J. Geike publiait un livre intitulé "The Great Ice Age" dans lequel il soulignait l'influence de l'âge glaciaire sur l'histoire de l'humanité. Depuis lors, la description et l'explication des caractéristiques morphologiques, de l'extension et de la chronologie des environnements pléistocènes ont été à la base de nombreux ouvrages encyclopédiques rédigés par des quaternaristes. À mesure l'on comprenait mieux l'adaptation de l'homme, de la faune et de la flore aux divers environnements glaciaires et non glaciaires, l'interdépendance des travaux de trois types de scientifiques, les géologues, les paléobiologistes et les archéologues, devenait de plus en plus évidente.

Le Quaternaire comprend deux époques, le Pléistocène et l'Holocène (ou Quaternaire récent). Il se démarque des autres périodes géologiques par sa brièveté ainsi que l'étendue et la complexité des dépôts sédimentaires qui lui sont associés. La base du Pléistocène se situe entre 1,5 et 2 millions d'années mais il est reconnu que le dernier refroidissement global de l'histoire de la Terre a débuté plus tôt et que la période glaciaire la plus récente ne correspond plus désormais au Quaternaire. L'estimation de la durée de l'Holocène pose aussi des problèmes puisqu'il ne coïncide que localement avec le "postglaciaire". Ce rapport adhère à la convention internationale et assimile l'Holocène aux 10 000 dernières années de l'histoire de la Terre.

La chronologie des événements quaternaires a été au centre des préoccupations scientifiques pendant plus d'un siècle. Des le début, des études stratigraphiques, lithologiques et morphologiques on permis aux géologues de déterminer la séquence des événements géologiques et des changements environnementaux. Toutefois, les dépôts sédimentaires et les observations morphologiques, et par conséquent la séquence des événements, étaient toujours incomplète et ne pouvaient donc être datés que sur une base relative. Les corrélations entre diverses régions, et même différents continents, se sont avérées peu fiables et dans certains cas, impossibles. Sous les latitudes nordiques, la durée et le nombre des principaux épisodes glaciaires sont demeurés incertains pendant longtemps bien que la plupart des scientifiques acceptaient qu'il se soit produit quatre glaciations. Il est maintenant évident que les données terrestres en indiquent beaucoup plus et que les données océaniques prélevées au cours des quinze dernières années indiquent une possibilité de plus de vingt épisodes glaciaires, ou du moins, de refroidissement.

Après 1945, le perfectionnement des méthodes radiométriques de datation a permis d'établir des échelles de "temps absolu" qui, bien que ne convenant pas à toutes les phases du Quaternaire ni à tous les types de matériaux, ont révolutionné la chronologie quaternaire. D'autres techniques géochronométriques appliquées au Quaternaire, entre autres les séries uranium/thorium, la diagenèse des acides aminés et la thermoluminescence, élargissent l'intervalle de datation absolue. Le Quaternaire s'intéresse surtout aux processus dynamiques modifiant la surface de la Terre avec le temps ainsi qu'à la réponse de ces processus aux modifications cycliques subies par l'environnement. Le domaine de la datation du Quaternaire est si important et est devenu si complexe qu'il consitue maintenant un sous-domaine reconnu du Quaternaire. De nos jours, tous les quaternaristes se doivent d'avoir accès aux

laboratoires de géochimie et de chimie radioactive et de connaître la disponibilité et les limites méthodes des géochronométriques.

L'étude des modelés et des processus sédimentaires et mophologiques s'y rapportant s'est également raffinée. Les problèmes relatifs à la glaciologie, particulièrement l'importance des différents régimes thermiques à l'intérieur des calottes glaciaires, leur instabilité inhérente et leur susceptibilité aux désintégrations catastrophiques, ainsi que les études récentes de la croûte terrestre (reliées particulièrement aux variations glacio-isostatiques et aux variations du niveau marin), exigent des connaissances théoriques considérables en géophysique.

L'analyse des caractéristiques chronologiques, sédimentaires et biologiques des dépôts du fond océanique a étendu la connaissance des événements quaternaires au plate-formes continentales et aux mers profondes où elle a fourni la séquence des variations globales du climat atmosphérique au Quaternaire. Cette séquence est complétée par l'étude de certains dépôts continentaux, comme les loess, et l'étude de carottes de glace prélevées sur les principales couches de grès d'origine glaciaire. Pour la première fois, on dispose de données climatiques détaillées destinées à l'analyse de la modification des environnements au Quaternaire et à la détermination de la mesure dans laquelle ces changements ont été influencés par la poussière volcanique et les modifications d'orbite terrestre, de topographie et du taux de gaz carbonique. Par conséquent, la paléoclimatologie est devenue depuis quelques années un sous-domaine important du Quaternaire.

Alors que le nombre de ses sous-domaines s'accroissait, le Quaternaire commençait à mettre l'accent sur des phénomènes différents. Au Canada, le Quaternaire s'est traditionnellement intéressé surtout au Pléistocène, aux dépens de l'Holocène. Depuis qui l'on a reconnu que les changements environnementaux de l'Holocène, d'origine, naturelle ou causés par l'action humaine, jouent un rôle important dans les études humaines et écologiques contemporaines, les environnements holocènes attirent de plus en plus l'attention[1]. La signification des changements actuels du niveau marin en fonction de l'érosion du rivage et de la sédimentation, l'éventail des accidents naturels, variant des innondations aux glissements de terrain, la modification du pergélisol et l'analyse des paramètres physiques des environnements actuels ne sont que quelques phénomènes holocènes dignes d'intérêt. Il ne fait aucun doute par ailleurs que les études de changements environnementaux relativement récents sont un moyen de prédire la nature possible des environnements futurs.

La géologie du Quaternaire n'a jamais été isolée des autres disciplines du Quaternaire. Elle participe aujourd'hui à notre compréhension de la surface de la Terre depuis l'apparition de l'homme et dans une plus grande mesure peut-être, elle constitue un outil qui nous aidera à trouver des moyens pour que la Terre continue à être un milieu où nos enfants pourront vivre.

Le large éventail de disciplines s'intéressant aux événements quaternaires recoupe les limites traditionnelles de la collecte d'information scientifique. Le besoin d'un contact entre les différentes disciplines scientifiques a conduit à l'établissement en 1928 de l'Association internationale pour l'étude du Quaternaire (INQUA), qui portait en 1932 le nom d'Union internationale pour l'étude du Quaternaire. Son objectif principal est de favoriser la coopération internationale entre les aspects multidisciplinaires du Quaternaire. À l'origine, les préoccupations de l'INQUA étaient surtout européennes mais, lors des congrès les plus récents auxquels ont participé une cinquantaine de pays, on a pu constater que ses activités s'étaient élargies.

4 Le début de la géologie du Quaternaire au Canada

La recherche en Quaternaire s'est implantée au Canada au cours de la seconde moitié du dix-neuvième siècle par la biais de la Commission géologique du Canada et des universités de Toronto et McGill. Les chercheurs de la Commission ont entrepris de vastes travaux de reconnaissance géologique, qui comprenaient la cartographie des reliefs et sédiments quaternaires, et des 1863, produisaient une carte des dépôts superficiels du "Canada". L'extension des observations aux régions non habitées a rapidement suivi, profitant principalement des excursions de J.B. Tyrrell à l'ouest de la baie d'Hudson, qui ont posé les bases de toutes les études ultérieures sur la calotte glaciaire laurentidienne. Cette tendance s'est poursuivie jusqu'en 1914; les sédiments glaciaires étaient le principal sujet d'intérêt mais des considérations théoriques sur l'étendue et la dynamique des calottes glaciaires pléistocènes commençait à voir le jour. Les études sur les épisodes non glaciaires portaient surtout sur l'étendue des lacs quaternaires tardifs, particulièrement dans le sud de

1 L'arrivée de la datation au carbone radioactif a été un facteur important de l'émergence de l'Holocène en tant que domaine distinct. Cet intérêt accru pour l'Holocène se manifeste clairement par le fait que dans la publication récente (1984) en deux volumes intitulée "Late Quaternary Environments of the United States", Wright, H.E. Jr. (éditeur), le second volume est entièrement consacré à l'Holocène.

l'Ontario et du Manitoba où la recherche n'était en fait que l'extension de celle menée plus au sud, aux États-Unis. Des lits interglaciaires ou interstadiaires dans le sud de l'Ontario ont été analysés afin d'en déterminer le milieu de sédimentation. Plus à l'est, la nature des trasngressions marines tardives et postglaciaires dans l'estuaire du Saint-Laurent et les Provinces maritimes attiraient l'attention.

Au cours du quart de siècle suivant, les innovations d'importance ont été obstinément peu nombreuses et témoignaient de la vaste étendue du pays, de la complexité des problèmes et du petit nombre de scientifiques s'y consacrant. La cartographie quaternaire s'est poursuivie à la Commission géologique et des scientifiques américains et européens y ont grandement contribué mais ce n'est pas avant le milieu des années 30 qu'une tendance vers le progrès a commencé à se manifester. Une prise de conscience croissante des applications du Quaternaire a amené la Fondation de recherches de l'Ontario à appuyer, à partir de 1934, la production d'un relevé physiographique du sud de l'Ontario. Ce dernier, réalisé par L.J. Chapman et D.F. Putnam portait principalement sur les sédiments et reliefs glaciaires.

Les problèmes reliés à l'étendue et l'inaccessibilité de la plus grande partie du pays ont graduellement été surmontés grâce à l'aviation et en 1939, J.T. Wilson avait démontré le potentiel de l'interprétation topographique par photographies aériennes dans le cadre de travaux quaternaires. La guerre et ses conséquences immédiates ont retardé l'arrivée de progrès notables jusque dans les années 50, époque à laquelle les généralisations du début du siècle au sujet des événements glaciaires ont finalement été soumises à l'analyse critique. Cependant, pendant un certain temps, le progrès continua d'être lent.

La recherche et l'ensignement du Quaternaire commençaient cependant à s'établir dans les universités, particulièrement dans le sud de l'Ontario. Dans le nord, les compagnes de reconnaissance en hélicoptère étaient sur le point d'être amorcées par la Commission géologique et la cartographie détaillée de tous les secteurs du pays prenait son essor. En 1958 était publiée la première carte des formations glaciaires du Canada sous la direction de J.T. Wilson; la géologie du Quaternaire allait connaître une ère d'expansion mais la communauté géologique dans son ensemble ne reconnut que plus tard la valeur de ces nouvelles orientations. En 1968, une publication spéciale de la Société royale du Canada, "The Earth Sciences in Canada", fait rapidement allusion aux dépôts quaternaires et mentionne à peine la géomorphologie[1]. La négation de l'importance de la géologie du Quaternaire n'allait pas se poursuivre encore bien longtemps. Trois ans plus tard, dans le cadre d'une étude générale réalisée pour le Conseil des sciences du Canada, la commission Blais dans son document "Earth Sciences Serving the Nation" identifiait sept domaines des sciences de la Terre à revaloriser. Ceux-ci comprenaient l'étude du Quaternaire et des régions nordiques[2].

5 Disciplines du Quaternaire: Évolution et situation actuelle

Pendant près d'un siècle, la géologie du Quaternaire s'est concentrée sur l'étude de la lithostratigraphie et du relief. L'évolution rapide de la recherche au cours des dernières années a été marquée par l'inclusion de nombreuses spécialités tandis qu'une vision de plus en plus globaliste des variations environnementales finissait par dominer le Quaternaire. Aujourd'hui, la collaboration entre scientifiques de spécialités différentes est au centre d'une recherche efficace en Quaternaire. La nécessité d'une coopération active entre de nombreuses disciplines et l'interdépendance étroite entre la modélisation théorique et les observations de terrain ont été clairement démontrées par des analyses récentes de l'inlandsis laurentidien. La controverse au sujet de la morphologie et de la dynamique de cet inlandsis, le plus étendu de tous ceux ayant recouvert l'hémispère nord au Pléistocène, s'est poursuivie pendant plus d'un siècle. De nouvelles hypothèses étaient abandonnées avec l'obtention de nouvelles données de terrain. Il ne fait aucun doute maintenant, que seule une interaction étroite et active entre les géologues spécialisés en terrains glaciaires, qui étudient la stratigraphie terrestre et marine, les géophysiciens, qui étudient les effets des variations de la croûte terrestre et du niveau marin, les glaciologues et les paléoclimatologues, permettra d'élaborer des solutions satisfaisantes.

Les différentes branches du Quaternaire fournissent les données nécessaires à une détermination globale des changements environnementaux, de leur dynamique et de leur chronologie. Bien que ces différents domaines reposent sur des techniques et des méthodologies différentes, les frontières qui les séparent, selon la perception des chercheurs, sont rarement hermétiques. Les subdivisions de la géologie et des domaines connexes ont de moins en moins d'importance et, en ce qui concerne la formation

1 Neale, E.W.R. (éditeur), The Earth Sciences in Canada, Société Royale du Canada, Special Publication no. 11, 1968.

2 Blais, R.A., Earth Sciences Serving the Nation, Special Study no. 13, Conseil des sciences du Canada, 1971.

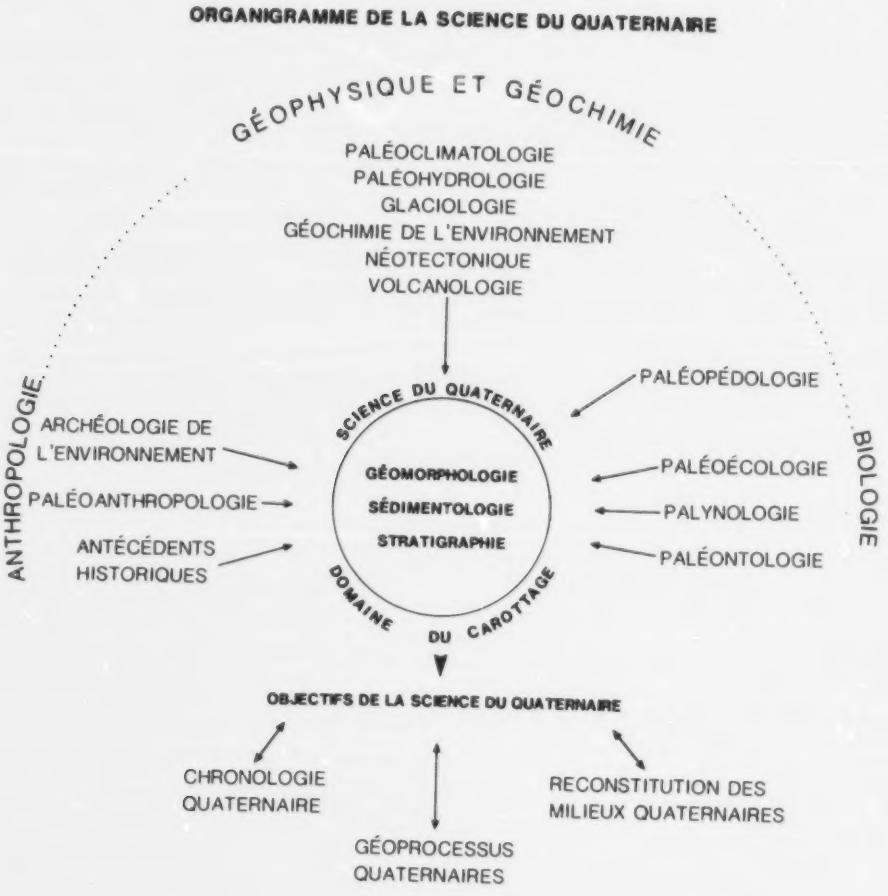


Figure 5.1

Disciplines de la géologie du Quaternaire et domaines connexes.

théorique et pratique des quaternaristes, les disciplines universitaires traditionnelles représentent plus souvent un obstacle qu'un moyen visant l'excellence.

Les pages suivantes présentent la portée et la situation actuelle des disciplines intrinsèques du Quaternaire. Ce survol sera suivi d'une description des disciplines et des techniques reliées à la datation et la détermination des environnements quaternaires (fig. 5,1).

5,1 Stratigraphie du Quaternaire

Un des principaux thèmes des travaux quaternaires est l'effet des changements climatiques (processus) sur les séquences géologiques (réponse). Bien qu'on puisse prétendre que la méthodologie de la géologie du Quaternaire ne diffère pas de celle des autres périodes, les réponses obtenues pour des périodes plus courtes peuvent être détectées dans les séquences les plus complètes, ayant subi une modification diagénétique minimale. Tandis qu'en Quaternaire, on peut détecter des réponses de l'ordre de 10^2 à 10^4 années, la géologie pré-quaternaire étudie en général les changements de l'environnement géologique qui s'échelonnent durant des intervalles régis par des efforts tectoniques internes dont la résolution varie habituellement de 10^5 à 10^6 années.

La géologie du Quaternaire au Canada a été dominée par des tentatives de description et d'interprétation des séquences glaciaires, grandement responsables du relief canadien actuel et des dépôts superficiels. Un énorme progrès a été accompli et il se manifeste clairement par des résumés, comme ceux de Craig et Fyles (1960), Prest (1970) et Fulton (éditeur; 1984). Peu de régions canadiennes n'ont pas été recouvertes par d'anciens glaciers ou inlandsis et les quaternaristes canadiens se sont appliqués, dans une

grande mesure, à interpréter la stratigraphie et la chronologie des glaciations quaternaires. Comme l'inlandsis laurentidien renfermait probablement environ 70% de toute l'eau extraite au cours des glaciations quaternaires, l'histoire de ce glacier sort considérablement du cadre des questions d'intérêt national et la portée du travail effectué par les Canadiens sur la chronologie des glaciations a des conséquences plus larges.

Les progrès accomplis dans le domaine de la stratigraphie du Quaternaire au cours des vingt-cinq dernières années est impressionnant. La connaissance du Quaternaire du nord canadien s'est accrue de façon exceptionnelle; la plupart des quaternariste acceptent maintenant l'idée selon laquelle l'inlandsis laurentidien était limité au nord'. La stratigraphie du Quaternaire canadien a aussi tiré parti de la mise au point d'une grande variété de techniques de datation et de corrélation qui témoignent de percées scientifiques en physique et en chimie et de leurs applications aux problèmes géologiques. Les vingt-cinq dernières années ont connu la profonde transition d'une chronologie glaciaire de nature relative à une chronologie plus absolue, basée sur des lois physiques et chimiques. Les scientifiques canadiens ont aussi, assez lentement dans un certain sens, étendu leurs intérêts à différents types de séquences sédimentaires. En particulier, la création des Centres géoscientifiques de l'Atlantique et du Pacifique, à Halifax et Victoria, consititue une étape importante des travaux stratigraphiques quaternaires et dote le Canada d'un groupe travaillant dans les baies, les bassins océaniques profonds et les plate-formes des eaux canadiennes et internationales. Dans le contexte canadien, les principales techniques de datation de la stratigraphie quaternaire sont la datation au carbone 14, les séries de l'uranium (des spéléothèmes et du matériel carbonacé d'origine organique), la téphrochronologie, la magnéto-chronologie, les isotopes d'oxygène, les traces de fission et la racémisation des acides aminés. Une technique qui semble très prometteuse est la thermoluminescence (T/L). Elle s'applique en théorie aux sédiments lacustres, marins, marins glaciaires et fluviatiles. Un profond changement survenu au cours des vingt-cinq dernières années est la prise de conscience du fait qu'un grand nombre de séquences quaternaires canadiennes s'étendent sur un intervalle considérable et il semble se dessiner une tendance selon laquelle on assigne à des unités particulières un âge supérieur avec l'amélioration des connaissances et des techniques de datation. Un exemple de cette tendance est l'hypothèse selon laquelle le till de Bécancour des basses-terres du Saint-Laurent serait antérieur au dernier interglaciaire. Sur l'île Baffin, la biostratigraphie des foraminifères, la racémisation des acides aminés et l'étude du paléomagnétisme appuient la conclusion selon laquelle les sédiments constituant la base observable des sections d'érosion, le long de la côte est, seraient d'âge pliocène. Sur l'île Banks, dans l'Arctique occidental, la combinaison des données sur la stratigraphie, le paléomagnétisme et les acides aminés indique que certains dépôts remontent au moins à 0,7 Ma. De même, une longue série de glaciations et d'interglaciaires est préservée dans les Prairies et les basses-terres de la baie d'Hudson. Des sédiments marins de grande profondeur de la mer du Labrador et de l'océan Arctique renferment des séquences couvrant 3,5 à 4 Ma.

5.2 Processus et modelés

La morphologie du paysage est constituée d'un assemblage complexe de formes de relief produites par des processus d'érosion et de sédimentation modifiant avec le temps les surfaces terrestres primitives. Les principales caractéristiques des sédiments superficiels et des reliefs mésoscopiques et microscopiques du Canada se sont probablement toutes développées au cours du Quaternaire, tardif dans la plupart des cas, y compris l'Holocène.

L'analyse des sédiments et de la topographie permet de déterminer les taux d'altération et d'érosion actuels. Ces déterminants sont d'un intérêt immédiat pour l'ingénieur, le spécialiste de l'agriculture, de la foresterie et de l'aménagement du territoire puisque les caractéristiques actuelles peuvent fournir des indications sur l'environnement et la chronologie antérieurs.

Durant le Quaternaire, le Canada a connu quatre environnements reliés à des processus particuliers, ce sont: les environnements glaciaires, périglaciaires, fluviatiles (latitude moyenne) et marins, dans les régions littorales. La complexité de la topographie actuelle résulte de la succession répétée de conditions environnementales durant le Quaternaire.

L'étude du relief canadien a progressé rapidement au cours des quarante dernières années et les universités comptent de nombreux spécialistes en géomorphologie, particulièrement dans les départements de géographie. Durant cette période, la cartographie des formes de relief était le principal intérêt des organismes gouvernementaux, ce qui n'était pas le cas des universités, où des études sur

l'histoire et la nature des processus prédominaient. L'interprétation géologique à partir des formes de relief a occupé une place importante de la géomorphologie appliquée. Les réponses au questionnaire montrent que la majeure partie de la recherche effectuée dans un seul domaine était effectuée en géomorphologie. Un intérêt particulier pour l'étude des reliefs est confirmé à l'échelle nationale par l'étude des subventions accordées par le CRSNG (tableau 10.2).

L'établissement de comparaisons à l'échelle internationale est délicate mais deux observations semblent pertinentes. Lors de la première conférence internationale sur la géomorphologie tenue en 1985, les Canadiens constituaient la quatrième délégation nationale en importance. Vingt-cinq articles sur un total de 550 (y compris les panneaux des kiosques d'information) provenaient du Canada et quinze d'entre eux portaient sur le glaciaire et le périglaciaire. Par contre, la production canadienne de publications géomorphologiques d'importance est plus faible que celle de l'Australie, pays dont la population est deux fois moindre que celle du Canada (voir la liste des monographies publiées au cours de la dernière décennie à l'annexe 6).

5.2.1 processus et modelés: glaciaires et proglaciaires

De leur côté, les processus d'érosion et de sédimentation associés aux glaciers ont soulevé peu d'enthousiasme au Canada. Le peu de connaissances que nous possédons sur les sujets suivants est étonnant: vitesse d'érosion glaciaire, influx de sédiments du rivage vers le large, interactions glaciaires, marines et lacustres ainsi que tous les aspects relatifs aux processus polaires, glaciaires et de haute altitude. L'interprétation de la majeure partie de la stratigraphie quaternaire demeurera hasardeuse tant que notre connaissance des environnements sédimentaires glaciaires ne sera pas améliorée.

Au Canada, la coopération entre glaciologues, géomorphologues spécialisés en terrains glaciaires et sédimentologues n'est pas très efficace et l'élaboration de nouvelles théories en glaciologie est principalement attribuable à des scientifiques étrangers. L'arrivée récente de glaciologues au sein de la Commission géologique du Canada devrait améliorer la situation.

L'application des processus géomorphologiques et sédimentaires à l'étude des terrains glaciaires dans une optique tenant compte des formations topographiques[1] semble offrir une voie prometteuse aux innovations futures.

5.2.2 Processus et modelés: périglaciaires (incluant le pergélisol)

Au début du siècle, on assumait que l'altération rocheuse et les mouvements de masse dans les régions arctiques (et alpines) résultaient de processus associés à la glace contenue dans le sol. Les processus géomorphologiques périglaciaires sont remarquables et souvent prédominants en présence de pergélisol, bien que des processus isolés puissent être actifs en environnements plus tempérés. En présence de pergélisol et de sédiments superficiels appropriés, l'humidité du sol subit une migration étendue: l'eau contenue en excès dans le sol s'accumule près de la surface et la glace du sol s'accumule au-dessous. Par conséquent, les sédiments superficiels de la couche active située à faible profondeur, au-dessus de la surface du pergélisol sont souvent extrêmement mobiles et le triage géométrique du matériel de surface est fréquent.

Près de 60% des régions terrestres du Canada contiennent du pergélisol. Depuis le dernier interglaciaire, l'entière superficie du Canada, à l'exception seulement de quelques zones littorales étroites, a probablement été touchée par le pergélisol à un moment ou à un autre et, dans de nombreuses régions nordiques, des reliques de pergélisol (ou paléopergélisol) témoignent de ces conditions passées. L'épaisseur du pergélisol est fréquemment inversement proportionnelle à la répartition des glaces de glaciers du Pléistocène tardif et des transgressions marines. Dans le sol du Nord-Ouest, on trouve aujourd'hui de la glace ayant subi des déformations d'origine glaciaire âgée d'au moins 40 000 ans, le terrain sous la mer de Beaufort contient aussi de la glace et, dans le sud du Canada, un microrelief périglaciaire a été préservé jusqu'à maintenant. Dans les autres régions, particulièrement dans les Prairies, les glaciers wisconsiniens ont atteint les sédiments non consolidés et à demi consolidés qui contenaient du pergélisol et les ont remanié, créant des reliefs toujours observables de nos jours.

Dans le nord du pays, et dans pratiquement tout le Canada au Quaternaire tardif, le rôle du pergélisol dans l'évolution du paysage en fait un sous-domaine important de la géologie du Quaternaire. Il est donc surprenant de constater que huit répondants seulement (5%) ont mentionné le pergélisol comme principal domaine de recherche et qu'en réponse à la

---

1 Eyles, N. (éditeur), Glacial Geology, Oxford, 1983, 409 p.

question 33, aucun répondant ne considère que la recherche sur le pergélisol est un secteur exigeant une attention accrue.

Les problèmes reliés à l'expansion de la recherche sur le pergélisol sont les mêmes que ceux des autres domaines de la géologie du Quaternaire qui dépendent de données théoriques et pratiques provenant d'un grand nombre de disciplines. L'étude du pergélisol s'est intensifiée au Canada aprés 1945 grâce à la participation active du Conseil national de recherches sur le plan de la cartographie, des analyses théoriques et des études appliquées. Par la suite, la recherche s'est répartie plus uniformément dans le pays. Malgré le petit nombre de scientifiques engagés dans la recherche sur le pergélisol, nous pouvons affirmer que le Canada est une autorité mondiale en la matière et ceci grâce aux efforts déployés par quelques personnes.

Les études sur le pergélisol et le relief périglaciaire sont souvent réunies dans le même programme de recherche. Dans le domaine du modelé périglaciaire, d'importantes études ont été amorcées sur l'île Victoria au début des annés 40, sous l'impulsion du travail effectué par A.L. Washburn. Elles ont été poursuivies dans les années 50 dans de nombreuses régions de l'Arctique canadien par les travaux de terrain de la Direction de le géographie du fédéral. Les travaux les plus poussés ont été menés dans l'ouest de l'Arctique, où des scientifiques des universités de la Colombie-Britannique et d'Ottawa ont étudié le rôle de la glace dans le sol dans l'évolution des reliefs, y compris les pingos. D'autres études périglaciaires sur l'altération, les mouvements de masse et les processus glacio-lacustres et glacio-marins ont été menées dans de nombreux centres, en particulier dans les ministères fédéraux d'Énergie, Mines et Ressources et de l'Environnement et dans les universités de l'Alberta, de Montréal, d'Ottawa, Carleton et McGill.

L'étude des processus périglaciaires et du pergélisol a été largement appliquée à des problèmes d'aménagement, particulièrement dans le secteur de Mackenzie- Beaufort. Cependant, l'explication des principes de base de nombreux problèmes associés à l'altération, la solifluxion (et autres types de mouvements de masse) et aux sols polygonaux n'est pas encore disponible. Pas plus que l'observation détaillée de roches moutonnées et de pentes périglaciaires exceptionnelles (altiplanation) dans l'est et le nord de l'Arctique n'a conduit à des études approfondies sur ces phénomènes.

Les géomorphologues ont récemment reconnu que, même en l'absence de conditions périglaciaires à la suite du retrait d'un inlandsis, un ensemble transitoire de conditions intermédiaires inhabituelles (régime paraglaciaire) était présent pendant un certain temps avant le rétablissement du régime "normal".

5.2.3 Processus et modelés: études de pentes et d'érosion dans le sud du Canada

Les études sur les processus géomorphologiques régissant l'évolution du relief actuel dans les régions du sud du Canada sont moins nombreuses, bien que la plupart des principaux sous-domaines (par exemple, fluviatile, éolien, karstique) ait attiré un petit nombre de géomorphologues. L'étude de l'évolution des pentes progresse dans quelques universités. L'analyse des mécanismes de rupture de pentes et de la stabilité des pentes dans les sédiments de la mer Champlain et d'autres sédiments post-glaciaires a entraîné la publication d'un certain nombre d'articles importants présentant un aspect pratique intéressant. Dans la Cordillère, des estimations du taux d'altération et de l'évolution des pentes en environnement alpin se poursuivent depuis de nombreuses années. Des études sur les phénomènes karstiques, appliquées principalement à la Cordillère, ont conduit à des estimations intéressantes sur les environnements alpins du Quaternaire et sur l'âge du relief des montagnes et des vallées. Compte tenu de l'importance de l'expertise nécessaire depuis quelques annees dans le sud du Canada sur de nombreux types d'impacts environnementaux, la pénurie de quaternaristes compétents spécialisés dans ces domaines a été fortement ressentie.

5.2.4 Processus et modelés: marins et littoraux

Les études géomorphologiques des phénomènes littoraux ont été restreintes à la côte est et à certains secteurs des rivages des Grands Lacs. Des projets de recherche isolés ont étudié la côte ouest et l'Arctique. Les bilans de transport sédimentaire et la morphologie qui en découle, notamment de nombreux types d'escarpements et de plate-formes littorales formés au Quaternaire tardif, ont monopolisé l'attention. Des éléments paléo-littoraux, comprenant des profils à escarpements multiples, des plages soulevées d'origine interglaciaire et la répartition des plate-formes littorales du Nord, ont été décrits mais leur origine et leur importance en fonction des événements quaternaires demandent une recherche plus poussée. Le cas particulier de la sédimentation dans la zone intertidale des estuaires entourant la baie de Fundy,

et dans d'autres secteurs des Provinces maritimes, est encore un domaine de recherche des plus prometteurs.

La recherche théorique est partagée entre un certain nombre d'universités, particulièrement Dalhousie et McMaster, les ministères fédéraux, avec le concours de la Commission géologique du Canada sur les côtes atlantique et pacifique, et les organismes provinciaux. D'autres groupes, menant des études sur la côte ouest sont situés à l'Université de Colombie-Britannique et à l'Institut des sciences de la mer à Patricia Bay. Les facultés d'ingénierie n'offrent qu'une maigre formation pratique dont la majeure partie est dispensée par des groupes de consultants.

5.3 Niveaux marins

5.3.1 Niveaux marins au Quaternaire

Les niveaux marins des régions littorales ont grandement fluctué depuis la retraite des inlandsis du Wisconsinien tardif. Les changements dans toutes les localités sont reliés de façon complexe aux influences globales, régionales et locales. Tandis que certains changements de niveau marin résultent en partie du diastrophisme, comme c'est le cas autour de la mer de Beaufort, la plupart dépendent de variables reliées aux glaciations, notamment les changements de volume de la glace, l'isostasie glaciaire et le chargement hydro-isostatique. Aux endroits où les séquences postglaciaires couvrent de nombreux millénaires, des conclusions sur l'âge et la forme de la retraite définitive du glacier, l'épaisseur de l'inlandsis et les changements tectoniques peuvent être tirées. De plus, il est possible de mettre à l'essai des modèles géophysiques de la croûte.

De nos jours, le niveau marin s'élève dans la plupart des zones littorales externes du Canada, y compris sur les plateaux continentaux. Au large de la Nouvelle-Écosse et dans la mer de Beaufort, des plaines littorales ont été englouties sous plus de 100 m au cours des 20 à 30 derniers milliers d'années. Les effets morphologiques de cette submergence sont évidents, particulièrement autour des îles occidentales du nord de l'Arctique. Le degré de submergence postglaciaire décroît en s'éloignant de l'océan et, dans les provinces maritimes, le niveau zéro de l'isobase recoupe l'ouest de la péninsule de la Nouvelle-Écosse et l'île du Cap-Breton, le centre de l'île du Prince-Édouard et le sud de Terre-Neuve. Du côté continental de l'isobase, on observe un phénomène d'émergence, le niveau marin actuel étant inférieur à celui de la transgression postglaciaire maximale.

5.3.2 Niveaux marins postglaciaires (holocènes)

Les observations de terrain sur les niveaux marins holocènes ont débuté vers la fin du dix-neuvième siècle et ont d'abord porté principalement sur la cartographie de la limite marine des régions subissant les contrecoups de la dépression glacio-isostasique. De Geer a publié en 1892 une carte de l'est du Canada (comprenant le Labrador et une partie du nord-est des États-Unis) montrant la limite marine des isoclines. Cette publication a été suivie par de nombreuses cartes de plus en plus détaillées. Durant les deux dernières décennies, des études de terrain intensives et la datation au carbone radioactif de matériel contenu dans les sédiments littoraux ont entraîné la publication de cartes illustrant l'émergence entre des dates précises et les changements relatifs au cours d'intervalles déterminés, ainsi que des diagrammes du taux de variation du niveau marin à des emplacements donnés ainsi que des cartes d'inclinaison de la croûte.

On a publié des courbes du niveau marin à l'Holocène de dizaines de secteurs de l'est et du nord-est du Canada, dont la baie d'Hudson, mais on dispose de peu de données pour l'ouest canadien. La plupart des courbes des emplacements situés au nord, au nord-est et à l'intérieur du continent (c'est-à-dire loin des côtes donnant sur la pleine mer, dans des secteurs auparavant sous la zone intérieure des calottes glaciaires laurentidiennes) révèlent un relèvement rapide lors de la déglaciation suivi d'une décroissance exponentielle jusqu'à maintenant. À l'extérieur de ce secteur, se trouve une zone où le relèvement initial rapide a été suivi, depuis quelques millénaires, d'une submergence qui caractérise de nombreuses localités de la Colombie-Britannique. Les secteurs correspondant à une troisième possibilité, submergence continue mais non uniforme durant l'Holocène, sont limités au delta du Mackenzie et éventuellement à la côte externe de l'île Baffin.

En raison du grand nombre de conclusions pouvant être tirées du niveau marin, ces données continueront d'être recueillies dans toutes les régions où sont menées des études sur le Quaternaire. On devrait porter une attention particulière aux littoraux "anormaux" D(par exemple, le nord-est de l'île Ellesmere et les îles de la Reine-Charlotte) puisque le patron d'émergence général n'y est pas respecté ainsi qu'à l'accroissement du nombre de points et la diminution de l'étendue des intervalles entre les secteurs qui ne semblent pas caractérisés par une décroissance exponentielle régulière.

Les changements du niveau marin depuis quelques siècles peuvent être estimés à partir de courbes de relèvement, de données historiques et de marégraphes. Il est malheureux qu'un petit nombre seulement de marégraphes soient en opération, particulièrement dans le nord canadien et que le Canada ne participe pas au réseau de coordination global des marégraphes dont un numéro d'Eos faisait récemment mention (v. 65, 1985, p. 754-756). Quoiqu'il en soit, il importe de souligner que deux des sept membres du comité sont des Canadiens.

5.3.3 Variations du niveau marin au Pléistocène tardif

Les preuves de changements du niveau marin pré-Holocène sont limitées. Les côtes à l'extrême limite du pays ainsi que les plateaux continentaux adjacents ont connu des fluctuations du niveau marin tout au long de la dernière glaciation wisconsinienne. Des données sont disponibles pour le secteur de la mer de Beaufort, la périphérie de l'île Baffin et le plateau continental au large des Provinces maritimes, bien que de nombreuses lacunes persistent encore dans ces secteurs.

Les changements du niveau marin durant l'interglaciaire Sangamonien, et antérieurs à ce dernier, sont encore moins bien connus et ont essentiellement été déduits d'observations effectuées sur les plate-formes rocheuses (d'abrasion?) de la périphérie du golfe Saint-Laurent, de la Nouvelle-Écosse, où ils sont associés à des sédiments, et d'observations effectuées dans des localités isolées situées plus au nord, particulièrement sur l'île Baffin.

5.4 Disciplines scientifiques connexes liées à la géologie du Quaternaire

Le comité a identifié un groupe de domaines propres à la géologie du Quaternaire. Ce sont la géomorphologie quaternaire, la géologie glaciaire, la sédimentologie et la stratigraphie. De nombreuses disciplines connexes contribuent à la compréhension des domaines intrinsèques (la glaciologie par exemple) et un nombre encore plus grand de disciplines apporte des données nécessaires à la détermination de la chronologie du Quaternaire ainsi qu'à l'histoire et à la géographie des événements environnementaux du Quaternaire.

Dans les pages qui vont suivre, ce rapport étudiera la situation actuelle de certaines de ces disciplines connexes.

5.4.1 Glaciologie

La glaciologie comprend l'étude de la glace en milieu terrestre et marin. La glaciologie est essentiellement une matière interdisciplinaire et par conséquent, elle connaît, sur le plan de l'enseignement et de la recherche, des problèmes semblables à ceux rencontrés en géologie du Quaternaire. La formation des quaternaristes doit comprendre certaines notions de glaciologie afin de pouvoir envisager les processus associés à l'érosion glaciaire, aux éboulis, au transport et à la sédimentation. Les chercheurs travaillant à la reconstitution des anciennes glaciations tirent profit d'une collaboration étroite avec les glaciologues, particulièrement ceux qui travaillent en physique des glaces, par le biais de leurs études théoriques portant sur la modélisation des caractéristiques spatiales, dynamiques et thermiques des calottes glaciaires, sur les conditions géophysiques d'avancées et de retraits des inlandsis et sur les caractéristiques mécaniques et les propriétés des plate-formes de glace flottantes.

Le Canada est le deuxième pays de l'hémisphère nord sur le plan de l'étendue des glaciers actuels (après le Groënland) et sur celui de la quantité de pergélisol et de glace dans le sol (après l'URSS). C'est aussi l'endroit où l'étendue des calottes glaciaires du Pléistocène a été maximale. Il est donc surprenant d'y constater le peu d'ampleur de la glaciologie théorique, à peine surpassée par la glaciologie appliquée (comme les études d'équilibre de masse).

Certaines universités (Alberta, Memorial, Ottawa, Trent et Waterloo) poursuivent des recherches glaciologiques axées principalement sur l'analyse des changements climatiques récents mais les recherches approfondies et les programmes d'études supérieures sont limités aux départements de géophysique et d'astronomie de l'Université de la Colombie-Britannique. Des études glaciologiques sont menées au gouvernement fédéral dans le cadre des programmes de l'Institut national de recherches en hydrologie axés surtout sur les glaciers contemporains. L'aspect glaciologique de l'Étude du plateau continental polaire comprend des sondages dans la glace et accorde une importance particulière aux changements climatiques à long terme.

Les sondages amorcés en 1950 au camp Century, sur l'indlansis du Groënland, ont permis de récupérer de longues carottes de glace. Par la suite, il a été possible d'obtenir des carottes provenant d'autres inlandsis de l'hémisphère nord et de l'Antarctique. L'analyse de la stratification de la glace, du contenu en isotopes d'oxygène et d'hydrogène et des polluants

colloïdaux et chimiques a permis d'élaborer une séquence exclusive des changements climatiques quaternaires, en environnement continental. Bien que l'interprétation de la chronologie puisse être délicate, surtout en ce qui a trait à la glace de fond, certaines données remontent au dernier interglaciaire. Au Canada, des sondages profonds ont été prélevés sur les inlandsis de Devon, Meighen et d'Agassiz (nord de l'île Ellesmere) et des sondages couvrant une période plus courte ont été prélevés sur les inlandsis Barnes et Penny, sur l'île Baffin. Au cours de la prochaine décennie, si les ressources disponibles sont suffisantes, il sera possible de déterminer de façon détaillée, à partir des inlandsis entourant la baie de Baffin, les changements climatiques du nord-est du Canada au cours des 10 000 dernières années, comprenant les stades finaux de l'inlandsis laurentidien et l'intervalle postglaciaire.

À de nombreuses reprises au cours d'entrevues, on a fait part au comité de la détérioration, sur le plan national, de la situation de la formation et la recherche en glaciologie. Les glaciologues qui ont contribué, dans les années 60 et 70, au prestige du Canada à l'échelle internationale sont maintenant à la retraite ou de retour dans leur pays d'origine; ces scientifiques sont rarement remplacés. Il semblerait qu'au Canada, parmi toutes les disciplines liées à la géologie du Quaternaire, la glaciologie soit dans l'état le plus précaire.

5.4.2 Données océaniques

La paléo-océanographie du Quaternaire date des années 50 alors que de longues carottes de sédiment (10 m) ont pu être échantillonnées systématiquement dans les océans du monde entier grâce à l'invention de la carotteuse à piston de Kullenberg et que Cesare Emiliani a démontré que les variations de rapport des isotopes stables ($^{18}O/^{16}O$, $^{13}C/^{18}C$) de foraminifères contenus dans ces carottes correspondent aux variations cycliques de la température de la surface de l'eau (sea surface temperature: SST) et sont directement reliées aux cycles glaciaires. Au cours des vingt années suivantes, on a établit les points suivants: (1) les données océaniques présentent des fluctuations climatiques sous la forme de sédiments interglaciaires d'origine biologique alternant avec des sédiments boueux ou graveleux d'origine glaciaire déposés à la suite de la fonte des icebergs ou par des écoulements de gravité sur les marges continentales au cours des intervalles glaciaires de descente du niveau marin: (2) les cycles lithologiques et la stratigraphie des isotopes peuvent être corrélés avec précision sur de grandes distances à l'intérieur d'un bassin océanique et même d'un océan à l'autre: (3) les cycles sédimentaires marins peuvent être cartographiés à partir d'embarcations marines au moyen de profils séismiques à forte résolution.

Dans les années 70, avec la mise sur pied du Programme international de sondage des fonds marins, une chronologie isotopique marine complète remontant à 0,7 million d'années a été fermement établie[1]. On a également démontré que des variations cycliques de moindre échelle reflètent d'importants épisodes de refroidissement remontant au moins au Miocène moyen dans l'hémisphère nord et à l'Oligocène tardif, dans l'hémisphère sud.

La fiabilité apparente (reproductibilité) des résultats des travaux de paléo- océanographie a amené la réévaluation de la durée et de la datation des séquences littorales classiques du Quaternaire. Ainsi, un nombre croissant de chronostratigraphies quaternaires de l'Europe, de l'Amérique du Nord et de l'Asie de l'Est se basent sur les données biostratigraphiques et paléomagnétiques de haute mer pour dater les principaux cycles glaciaires conservés dans les dépôts terrestres.

Au cours des cinq dernières années, les perspectives de la géologie du Quaternaire ont continué de s'élargir grâce à quelques innovations scientifiques d'importance comprenant: (1) des appareils séismiques à forte résolution pour la cartographie des cent premiers mètres de sédiments sur les plateaux continentaux et leur corrélation avec les dépôts littoraux quaternaires; (2) des submersibles pour la cartographie du relief sous-marin et l'étude de la stabilité des sédiments marins et des processus de transport sédimentaire; (3) des dispositifs de carottage continuel dans le cadre du sondage des fonds marins et la mise en service d'un navire de construction canadienne, le JOIDES Resolution, pouvant effectuer des sondages à des profondeurs de 2 km dans les eaux de l'Arctique au de 78° de latitude Nord; (4) le carottage à piston effectué dans l'océan Arctique entre 80 et 89° de latitude Nord effectué dans des camps de base établis sur des îles de glace ou des langues glaciaires et (5) l'élaboration d'une biochronologie marine basée sur les diatomées, les foraminifères benthiques et les pollens marins (kystes de dinoflagellés) permettant d'étendre la biochronologie globale aux latitudes nordiques où les conditions de température empêchent la croissance ou la conservation de microfossiles et de radiolaires calcareux.

---

1 Shackleton, N.J. and Opdyke, N.D. Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239, Late Pliocene to Latest Pleistocene, Geol. Soc. Amer. Mem. 145, 1976, p. 449-64.

Les contributions canadiennes à la paléo-océanographie quaternaire moderne ont été considérables dans les domaines suivants: (1) élaboration du dispositif séismique HUNTEC à forte résolution et application de ce dispositif à la cartographie régionale des sédiments de plateau continental; (2) carottage au piston de la limite supérieure des talus continentaux glacés et des océans de haute latitude, comprenant la mer du Labrador, la baie de Baffin et le plateau continental Scotian; (3) cartographie séismique et étude sédimentologique des principaux chenaux océaniques sous-marins; (4) corrélation des dépôts quaternaires littoraux et marins basée sur la palynologie, les foraminifères benthiques ou sur une combinaison de la palynologie et des microfossiles marins; (5) carottage effectué aux camps glaciaires FRAM, LOREX ET CESAR, situés dans l'océan Arctique; (6) élaboration d'une biochronologie de haute latitude appliquée aux sédiments, du Miocène à nos jours, provenant de la mer de Norvège, de la baie de Baffin et de la mer du Labrador; (7) identification et étude acoustiques des effets géotechniques du pergélisol sous-marin dans la mer de Beaufort; (8) processus d'érosion reliés aux banquises et aux icebergs; (9) processus de transport sédimentaire dans les fjords arctiques et (10) projets collectifs entre l'industrie, le gouvernement et les universités sur l'étude des dépôts quaternaires observés dans les sondages d'exploration prélevés sur la marge continentale de l'est du Canada et la mer de Beaufort.

Les principaux problèmes freinant l'établissement d'un centre paléo- océanographique quaternaire canadien sont; (1) le petit nombre de centres de formation spécialisés en géologie marine (les universités Dalhousie et de Terre- Neuve sont les seules à offrir des programmes réguliers en géologie marine); (2) le nombre limité de navires voués à la recherche marine (deux à l'Institut océanographique Bedford et deux au Centre géoscientifique du Pacifique) et le nombre réduit d'heures passées en mer que ces navires accordent annuellement à la recherche; (3) la désuétude de l'équipement de carottage, des laboratoires à bord des navires et l'absence d'un schéma de navigation global pour les régions arctiques canadiennes; (4) un manque total d'expertise canadienne dans le domaine des microfossiles marins siliceux et (5) des occasions et des possibilités très réduites quant au traitement quantitatif de très importantes bases de données sur la géologie marine, comme celles utilisées par le CLIMAP et par son successeur, le SPECMP. Le Canada doit miser prioritairement sur la collaboration internationale afin d'être informé sur les innovations dans le domaine de la géologie marine et de la paléo-océanographie du Quaternaire.

5.4.3 Géomagnétisme du Quaternaire

Le paléomagnétisme est l'enregistrement de la direction, du sens et de l'intensité du champ magnétique terrestre au cours des temps géologiques. Son étude est basée sur le fait que ces caractéristiques ont évolué de façon continue et ont été enregistrées lors du dépôt de nombreux types de sédiments et conservées par la suite. L'étude du paléomagnétisme a connu une expansion considérable au cours des vingt dernières années et, bien qu'elle ne constitue pas une partie intégrante des travaux quaternaires canadiens, son utilisation s'accroîtra sans doute, en tant qu'outil précieux de corrélation et de détermination de l'âge des dépôts et de leur taux de sédimentation.

Le paléomagnétisme est une méthode extrêmement précieuse car ses effets sont observables dans le monde entier et que de nombreux types de matériaux se prêtent aux analyses. Ainsi, au Quaternaire, des horizons marqueurs géomagnétiques permettent de corréler des loess en Chine, des dépôts de lac glaciaire dans les Prairies canadiennes, des sédiments déposés sur le fond de l'océan Atlantique et des coulées de lave à Hawaï. De plus, la détermination de l'âge d'un événement magnétique fournit une méthode de datation absolue à l'échelle mondiale. Il est d'ailleurs probable qu'avec le temps, certains événements paléomagnétiques d'âge absolu connu constitueront un grand nombre de limites du Quaternaire.

Les matériaux à grain fin, comme les argiles et les silts lacustres ou marins, se prêtent particulièrement bien aux analyses puisque leur sédimentation lente permet aux grains de s'aligner parallèlement au champ terrestre. Les tills ont fait l'objet de travaux mais les résultats obtenus ne sont généralement pas fiables, principalement parce que même si le till et constitué surtout de particules d'argile et de silt, il suffit de quelques particules de taille supérieure pour fausser complètement les résultats.

Pour la datation et la corrélation, la magnétostratigraphie utilise les inversions majeures et mineures des pôles magnétiques Nord et Sud. Elle utilise aussi les périodes de forte et de faible intensité magnétique (rémanence magnétique) ainsi que les périodiques du champ magnétique constituent une façon de déterminer la vitesse de dépôt des sédiments. Les caractéristiques les plus faciles d'utilisation, et

aussi les plus populaires, sont les inversions. La position actuelle des pôles est normale; la position contraire est inverse. La seule inversion majeure du Quaternaire, située entre le Matuyama et le Brunhes, il y a environ 730 000 ans, s'est déjà avérée efficace pour indiquer l'âge considérable de certains dépôts superficiels de l'île Banks et du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan. Des inversions moins importantes se sont avérées être des horizons marqueurs précieux, dans le cas particulièrement des inversions des lacs Mungo et Mono, il y a environ 30 000 à 25 000 ans ainsi que dans le cas de l'inversion magnétique d'Olduvai qui couvre l'intervalle situé entre 1 870 000 et 1 670 000 ans avant notre ère.

Même si l'on peut probablement affirmer maintenant que la description d'une section importante est imcomplète sans magnéto-stratigraphie, les travaux paléomagnétiques en sont encore à leurs débuts au Canada. Les Centres géoscientifiques de l'Atlantique et du Pacifique ont mené des travaux en milieu marin à l'aide surtout de carotteuses à piston. Dans de nombreuses régions cependant, le taux de sédimentation est si élevé que peu de carottes atteignent la limite entre le Matuyama et le Brunhes. Par conséquent, les travaux ont principalement porté, avec un succès considérable, sur l'identification des inversions magnétiques de moindre importance. L'accumulation rapide des sédiments a permis d'identifier des variations séculaires périodiques au cours de l'Holocène couvrant des périodes de quelques centaines d'années. La plupart des travaux en milieu terrestre a été effectuée par les universités de Windsor Lethbridge, cette dernière travaillant principalement pour le compte de la Commission géologique du Canada, de Sidney et de Colombie-Britannique. Pour ses travaux, l'Université de Lethbridge a eu accès à des laboratoires et des ordinateurs américains.

Au Canada, probablement à cause de la nouveauté de la discipline, on peut estimer que le nombre de spécialistes et de laboratoires, y compris les ordinateurs et les programmes, est inadéquat en fonction des besoins. De plus, la plupart des travaux portent sur des aspects pratiques plutôt que théoriques et ces derniers devraient soulever plus d'intérêt. En particulier, il serait important qu'au Canada, le paléomagnétisme des tills fasse l'objet d'études plus nombreuses étant donné sa fréquence et son abondance dans les dépôts quaternaires.

5.4.4 Paléoclimatologie

La reconstitution des anciens patrons de circulation atmosphérique et des climats associés est l'objet principal de la paléoclimatologie du Quaternaire. De nombreux types de données obtenues par approximation sont disponibles et servent à la reconstitution paléoclimatique. L'établissement des climats antérieurs, le taux des variations climatiques et les processus en cause ainsi que la mise à l'essai de modèles théoriques sont à la base de la discipline.

Les travaux paléoclimatologiques récents effectués au Canada insistaient généralement sur l'aspect régional et consistaient pour la plupart en conclusions dérivées de la géologie du Quaternaire. Le travail du groupe de quaternaristes de la Commission géologique du Canada en est un exemple. Les travaux canadiens effectués sur des carottes de glace donnent également des résultats prometteurs (5.4.1).

Les progrès dans la reconstitution paléoclimatique proviennent toujours des travaux de paléobotanique. Les travaux récents menés dans le nord du Yukon en sont un exemple. Ils ont considérablement amélioré nos connaissances sur les conditions climatiques de la bordure nord-ouest de l'inlandsis laurentidien et sur le maximum thermique relativement précoce, suivi d'une baisse, que cet endroit a connu. Un nombre considérable de renseignements, sur les climats holocènes et glaciaires tardifs de l'est de l'Arctique, a aussi été recueilli grâce à un travail collectif supervisé par l'Université du Colorado et comprenant de nombreuses études palynologiques sur des sédiments terrestres et marins. Les données indiquent que ce secteur subit une détérioration climatique depuis 2000 ans.

L'établissement de relations entre les variations climatiques et les patrons de circulation synoptique et hémisphérique a été relativement fructueuse mais la nature des régimes de circulation glaciaire et interglaciaire et les transitions qui les séparent ne sont pas encore déterminées avec certitude. L'avenue la plus prometteuse dans ce domaine comprend l'utilisation de modèles numériques et l'intégration des données terrestres et marines, à l'image du programme américain CLIMAP. Des projets collectifs entre le gouvernement canadien et les universités ont permis de produire un modèle qualitatif pour le nord de la mer du Labrador.

Le Canada ne possède pas de vastes programmes paléoclimatiques multidisciplinaires bien que le "Climate Change Program"du Musée national des sciences naturelles constitue une amorce

dans ce sens. Ce programme a produit une série de rapports, une bibliographie[1] et a parrainé, avec le "Canadian Climate Program" du Service de l'environnement atmosphérique des symposiums et de nouveaux projets, comprenant des études portant sur les instruments historiques d'enregistrement climatique. Ces initiatives, qui profiteront à toute la communauté scientifique du Quaternaire et qui découlent d'une prise de *conscience sur les* conséquences des variations climatiques futures, entraîneront un effort raffermi et coordonné et l'avancement de la paléoclimatologie au Canada.

5.4.5 Paléoécologie

Durant le Quaternaire, les régions terrestres des latitudes nordiques ont connu deux environnements complètement différents selon qu'elles étaient ou non couvertes par des glaciers. L'interprétation environnementale et chronologique des épisodes glaciaires dépend largement des données stratigraphiques provenant d'observations lithostratigraphiques et de différentes observations physiques. Les plantes et les animaux sont réapparus dans ces zones recouvertes de glace au cours des interstadiaires et des interglaciaires. L'identification des fossiles et l'analyse de la répartition et de la densité des espèces, ainsi que la déduction du climat et des écosystèmes dans lesquels évoluaient ces espèces, permettent au paléobiologiste de participer activement à l'interprétation de la chronologie du Quaternaire et des environnements non glaciaires.

Certains paléobiologistes s'intéressent principalement aux aspects taxonomiques et génétiques, toutefois, la géologie du Quaternaire profite surtout du travail de ceux qui reconstituent les anciens écosystèmes à partir des fossiles recueillis et de leur expérience des environnements contemporains.

La paléoécologie du Quaternaire a débuté avec l'identification des macrofossiles végétaux. Par la suite, elle a été dominée par des analyses stratigraphiques de pollen à partir desquelles on a pu déduire les anciennes végétations d'une époque particulière, principalement au cours de l'Holocène. L'estimation des conditions climatiques découle de la nature de la végétation.

Les autres types de données paléobotaniques n'ont pas été largement exploitées au Canada. La mesure de la largeur des anneaux de croissance annuels des arbres, la datation comparative des échantillons et la reconstitution des anciens climats (dendroclimatologie), bien qu'elles aient été utilisées autour de la baie de James, dans les Rocheuses, au Yukon et dans le delta du Mackenzie, n'ont pas été utilisées au Canada avec autant de succès qu'elles l'ont été dans d'autres pays.

Les fossiles animaux jouent aussi un rôle important dans la reconstitution des environnements quaternaires. Les arthropodes constituent la classe la plus importante et les insectes *fossiles sont préservés* dans une grande variété de dépôts. Leur identification et les conclusions environnementales pouvant être déduites de leur présence ont été grandement perfectionnées en Grande Bretagne et en Europe au cours des deux dernières décennies. Des études importantes basées sur les fossiles d'ostracodes, de Trichoptères et de Chironmonidés commencent maintenant à apparaître au Canada. Les fossiles de scarabées sont largement répandus. Les fossiles montrant une affinité particulière pour des environnements spécialisés sont d'une grande valeur pour la reconstitution. Les principales études ont été effectuées dans le sud-ouest de l'Ontario.

La répartition contemporaine des espèces (végétales et microfauniques) d'anciennes régions glaciaires s'explique normalement par une dispersion postglaciaire à partir des régions non glaciaires situées au sud. Il est toutefois possible que des espèces aient survécu à l'abri, dans les inlandsis ou le long des bordures littorales. Au Canada, la possibilité d'abri sur les îles de la Reine- Charlotte, sur les îles du nord de l'Arctique, sur l'île Baffin, le long de la bordure formée par le Labrador et Terre-Neuve et dans le cas complexe du corridor non glaciaire entre le Yukon et l'Alberta soulève des perspectives biologiques intéressantes si non controversées quant à la totalité de la couverture glaciaire du Quaternaire.

Les fossiles de vertébrés, particulièrement de mammifères, sont rarement en nombre suffisant pour permettre une reconstitution précise de l'environnement bien que, dans le sud-est de l'Alberta et le sud-ouest de la Saskatchewan, la position stratigraphique d'assemblages fossiles particuliers a joué un rôle important dans la détermination de la chronologie et de la corrélation entre les sections.

Les microfossiles marins, notamment les foraminifères, les coccolithes, les diatomées, les radiolaires et les dinoflagellés sont à la base de l'interprétation paléoécologique des changements de circulation océanique et de température de l'eau. L'expertise du Canada se situe dans le domaine des foraminifères et des dinoflagellés mais elle est

---

1 Harrington et Rice (éditeurs), 1984. Climatic Change in Canada 4. Annotated Bibliography of Quaternary Climatic Change in Canada. Musées nationaux du Canada, Musée national des sciences naturelles, dans Syllogeus No. 51, 368 p.

lacunaire dans le domaine des coccolithes du Quaternaire et des microfossiles marins siliceux.

5.4.6 Palynologie

Le pollen est une des données les plus précieuses parmi toutes celles pouvant être obtenues par approximation pour la reconstitution des paléoenvironnements quaternaires. L'interprétation environnementale à partir d'assemblages végétaux fossiles exige la connaissance des répartitions actuelles et assume qu'aucun changement n'est venu perturber la tolérance écologique des espèces. Puisque les fossiles sont normalement contenus dans des sédiments non glaciaires, la séquence terrestre postglaciaire du Canada est fort complète et celle des interglaciaires antérieurs est fragmentaire.

Le détail de la reconstitution paléo-environnementale dépend de la nature des fossiles et des méthodes utilisées. Les macrofossiles végétaux (racines, tiges, feuilles et organes reproducteurs) n'apparaissent que sporadiquement mais indiquent normalement la présence, à une ancienne époque, d'une espèce de plante sur un emplacement ou à proximité. Les arbres, au delà de la limite actuelle, comptent parmi les fossiles les plus intéressants.

Les microfossiles végétaux (grains de pollen, spores, diatomées et certaines algues) sont à la base de la plupart des reconstitutions paléo-environnementales. Ils sont produits en grande abondance et peuvent être incorporés dans de nombreux types de sédiment bien qu'ils soient étudiés le plus fréquemment dans les boues lacustres, les tourbières et, dans une moindre mesure, dans les sédiments marins. La concentration des microfossiles excède fréquemment 100 000 unités par millilitre dans les sédiments lacustres, ce qui permet d'effectuer une grande variété d'analyses statistiques avec une précision aussi grande qu'un an pour les varves, bien que la résolution de la plupart des analyses est d'un siècle ou plus. Les grains de pollen et les spores de plantes terrestres retombent à la surface à peu de distance de la source mais, à cause de leur petite taille (10-100 microns), ils peuvent être dispersés par le vent sur des distances de quelques milliers de kilomètres ou intégrés au réseau hydrographique. De plus, puisque la production, la dispersion et la préservation des grains de pollen diffèrent selon les espèces, la relation entre un assemblage de microfossiles et la végétation actuelle d'un emplacement est complexe. Les grains de pollen sont un moyen important servant à corréler les sédiments de type littoral et marin. Des analyses statistiques de pollen trouvé dans les sédiments marins superficiels de la baie de Baffin à Terre- Neuve indiquent une forte corrélation entre la végétation actuelle et les assemblages polliniques marins.

Depuis 1975, on a publié des synthèses régionales, comprenant des conclusions principalement climatiques mais aussi édaphiques, *sur les séquences végétales postglaciaires* d'une grande partie des régions continentales du Canada. Des reconstitutions sont en cours pour le reste du pays, sauf l'archipel de l'Arctique. La qualité des interprétations se reflète dans les synthèses du sud du Québec[1] et du nord-ouest du pays[2], établies à partir d'une décennie ou plus de travail.

La répartition terrestre et marine du pollen à l'époque actuelle, le mouvement de la limite des arbres dans les Rocheuses et les Territoires du Nord- Ouest, les effets de la paludification, les tendances climatiques dans les îles de l'Arctique et l'environnement des premiers habitants du Labrador sont des exemples de sujets postglaciaires étudiés. Pour ce qui est du tardiglaciaire, des travaux effectués dans les Provinces maritimes ont permis d'identifier une oscillation climatique comparable et simultanée à l'oscillation Allerod-Dryas récent du nord- ouest de l'Europe. Des indices de conditions tardiglaciaires caractérisées par l'absence de glace ont aussi été relevés dans certains secteurs des îles de la Reine-Charlotte. Pour un intervalle plus long, des carottes de sédiment marin provenant des plate-formes de l'Est ont permis la corrélation de microfossiles marins et terrestres couvrant plus d'un cycle glaciaire et apportant des indices sur les conditions océaniques régissant le début et la fin des glaciations.

L'identification de paléoenvironnements postglaciaires tire à sa fin dans une grande partie du pays et on peut prévoir que les travaux futurs porteront sur des problèmes particuliers. Une meilleure connaissance du dépôt pollinique actuel et l'utilisation des valeurs d'apport (nombre de grains déposés annuellement sur un secteur donné) éliminent certains problèmes reliés à l'interprétation des assemblages fossiles. L'équilibre entre le climat et la végétation demeure un problème majeur. Tout retardappréciable du comportement végétal en réponse à un changement climatique conduit à des erreurs d'interprétation. Les assemblages fossiles interstadiaux et interglaciaires plus anciens diffèrent généralement davantage des assemblages modernes ce qui fait décroître la précision de la reconstitution paléoenvironnementale.

Une synthèse récente effectuée pour l' "International Commission for Palynology" relève que

---

1 Richard, P. 1977, Histoire post-wisconsinienne de la végétation du Québec méridional par l'analyse pollinique, Service de la recherche, Direction générale des forêts, ministère des Terres et Forêts du Québec.

2 Ritchie, J.C. 1984, Past and present vegetation of the far northwest of Canada, Toronto, 251 p.

plus de 40 spécialistes canadiens étudient les microfossiles quaternaires et modernes.

La plupart des travaux dans l'est de l'Arctique canadien et au Labrador ont été effectués par des spécialistes américains. De plus, un certain nombre de synthèses régionales comprenant nécessairement des données provenant des deux côtés de la frontière ont été publiées aux États-Unis.

Les installations nécessaires aux études palynologiques sont beaucoup moins coûteuses et complexes que celles d'un grand nombre d'autres domaines mais le financement de chargés de recherche adéquatement formés est beaucoup plus difficile à obtenir. Un grand nombre d'institutions et de travailleurs individuels ont accumulé des échantillons destinés à l'analyse mais ne disposent pas de l'aide nécessaire. Il est reconnu qu'une analyse convenable des microfossiles prend un temps considérable, ce qui, dans un mode de financement où les publications constituent un critère important de compétence, représente un inconvénient pour les personnes engagées dans la reconstitution paléo-environnementale.

5.4.7 Téphrochronologie

La téphrochronologie est une addition récente à la géologie du Quaternaire; en Amérique du Nord, les études sérieuses datent de la fin des années 50. Elles peuvent être divisées en deux catégories, les études fondamentales et les études appliquées. Celles du premier type comprennent la mise au point de méthodes et la définition originale de séquences téphrochronologiques. Celles du second type utilisent ces résultats pour tenter de résoudre des problèmes particuliers à la géologie du Quaternaire, tels que l'âge et la corrélation de sédiments et de surfaces géomorphologiques, la chronologie des changements environnementaux, les vitesses d'altération, l'âge des assemblages vertébrés fossiles et des sites archéologiques, l'histoire récente du champ magnétique terrestre et la reconstitution de la tectonique orogénique du Quaternaire.

L'établissement, dans le sud-ouest du Canada d'une séquence de cendres volcaniques du Pléistocène supérieur et de l'Holocène a constitué une réalisation majeure qui a conduit à l'utilisation répandue des lits de cendres volcaniques dans le cadre d'études liées à l'histoire, la géomorphologie, la pédologie et l'archéologie des anciens environnements quaternaires. Des sédiments glaciaires du Pléistocène moyen ont été identifiés avec certitude dans différents secteurs des Plaines de l'Ouest grâce à leur contenu en cendres volcaniques. Les cendres de Wascana Creek par exemple, au sud de la Saskatchewan et d'environ 0,6 Ma, peuvent être corrélées avec des séquences quaternaires bien connues du nord des États-Unis comprenant des régions touchées par les glaciers laurentidiens de la Cordillère. Ceci illustre bien les possibilités exaltantes de l'étude des cendres volcaniques en stratigraphie. Des travaux plus récents effectués au Yukon et en Alaska ont permis d'identifier de nombreux lits de cendres datant du Quaternaire, cependant, quelques uns d'entre eux seulement ont fait l'objet de descriptions détaillées et de travaux de datation, dont un qui couvre la majeure partie de l'Alaska et l'ouest du Yukon.

Au Canada, l'Université de Toronto est la seule à effectuer de la recherche fondamentale sur les cendres volcaniques. Il semble cependant qu'un groupe soit en train de se développer à l'Université Dalhousie et à l'Institut Bedford. Leurs recherches portent surtout sur des carottes du Cénozoïque tardif, prélevées à grande profondeur dans le nord de l'Atlantique, la baie de Baffin et l'océan Arctique.

Des études appliquées ont été menées par des scientifiques des universités de l'Ouest et des organismes gouvernementaux (sciences de la Terre, pédologie). Dans l'est du Canada, des travaux reliés aux cendres volcaniques ont été entrepris par le personnel de la Division de la sciences des terrains, de la Commission géologique du Canada (historique des environnements, paléoclimatologie), l'Université Western Ontario (historique de l'environnement quaternaire tardif, pédologie) et l'Université d'Ottawa (processus d'érosion).

Au Canada, aucun doctorat en cours ne porte exclusivement sur la téphrochronologie. La recherche dans ce domaine est limitée aux scientifiques universitaires et aux étudiants étrangers au niveau du post-doctorat.

Il ne fait aucun doute que la téphrochronologie peut conduire à une meilleure compréhension de la stratigraphie quaternaire de la demie ouest du Canada. Cette région fait l'objet d'études quaternaires si nombreuses qu'un plus grand nombre de travaux téphrochronologiques ferait profiter l'ensemble de la discipline.

5.4.8 Paléopédologie

Le développement des sols dépend du climat, des organismes, du relief et du régime hydrologique agissant sur les matériaux géologiques et les modifiant au cours des âges. L'identification des matériaux superficiels, comme les sols, est

relativement simple. Toutefois, les processus pédologiques n'étant plus actifs après l'enfouissement, le but de la paléopédologie est d'établir et d'interpréter les caractéristiques pélologiques résiduelles préservées après l'enfouissement.

La paléopédologie est en quelque sorte étrangère aux préoccupations de la communauté en sciences du sol, principalement parce que la plupart de ses membres ont été formés dans les facultés d'agronomie. Les paléosols peuvent toutefois fournir aux quaternaristes des renseignements précieux. Puisque les pédologues participent modérément à l'étude des paléosols, ceux-ci sont étudiés de plus en plus fréquemment par des scientifiques de spécialités variées, possédant parfois une connaissance limitée de la pédologie. Toutefois, l'absence d'opinions divergentes lors de l'identification d'éventuels horizons de paléosols entraînera très sûrement de mauvaises interprétations.

Après leur identification et leur classement, les paléosols constituent des marqueurs stratigraphiques intéressants, surtout s'ils peuvent être suivis et identifiés sur de grandes étendues, et des outils permettant de déchiffrer les environnements anciens. Pour cela, il faut évidemment assumer que les sols superficiels récents ont été formés dans des conditions semblables au climat actuel. Des interprétations paléoenvironnementales valables exigent donc une compréhension absolue des propriétés du sol et des processus pédologiques.

De nombreuses analyses chimiques utilisées normalement pour identifier un sol ne sont souvent d'aucune utilité dans l'établissement des caractéristiques chimiques initiales d'un paléosol. Ceci s'explique par les changements diagénétiques subis par la matière organique du sol après l'enfouissement et par l'enrichissement secondaire en bases, carbonates et en oxydes de fer causé par la percolation des solutions vers le bas, leur déplacement latéral ou leur déplacement vers le haut par capillarité ou par changement du niveau de l'eau souterraine. L'étude de la micromorphologie a souvent été très utile mais elle demande des laboratoires spéciaux. Par conséquent, les différentiations chimiques servent généralement à établir la genèse et la dynamique des paléosols avant l'enfouissement.

Les horizons foncés sont probablement les indicateurs les plus distinctifs et les plus élémentaires des paléosols. Ils sont généralement attribuables à la présence de matière organique. Toutefois, puisque la dégradation de la matière organique se poursuit après l'enfouissement, il est préférable d'établir les propriétés de la matière organique initiale afin de classer ces sols enfouis et de tenter de reconstituer le paléoclimat. De nombreuses études ont été entreprises récemment afin de déterminer la présence de molécules organiques initiales dans les sols superficiels et leur comportement dans les sols enfouis. L'étude de la matière organique des sols enfouis a été effectuée au moyen des taux d'acides aminés, de l'activité enzymatique, des polysaccharides, de l'analyse spectrale infrarouge des acides humiques, des acides carboxyliques aliphatiques et de l'extraction alcaline du fer et de l'aluminium. Ces techniques devraient toutefois être mises à l'essai sur de nombreux types de sols.

Près de 240 articles parus au Canada traitent, directement ou non, des paléosols mais seulement 15% d'entre eux environ font des paléosols l'objet exclusif de leur recherche. De tous les pédoloques canadiens, une dizaine seulement considèrent sérieusement l'utilité des paléosols dans la description des anciens paysages ou même la pertinence de leur étude. Ainsi, presque toutes les études connues sur les paléosols ont été effectuées par des étudiants des 2e et 3e cycles ou constituent des curiosités scientifiques. En Alberta, un profil enfoui distinct, atteignant fréquemment 50 cm d'épaisseur et recouvert par une couche de cendres volcaniques, est présent dans de nombreux secteurs et contient fréquemment d'importants indices de présence humaine. Toutefois, même s'il a fait l'objet d'une thèse et de quelques autres publications, sa compréhension n'est encore que partielle.

Les deux principaux secteurs prioritaires en paléopédologie sont:

1. L'identification des propriétés fondamentales et stables de la matière organique et inorganique initiale afin d'établir un paléosol qui soit un véritable profil d'origine pédologique et non le résultat de l'altération souterraine ou de la stratification sédimentaire.
2. La mise au point de techniques analytiques adaptées à l'estimation qualitative et quantitative de ces propriétés.

5.4.9 Paléohydrologie

L'hydrologie s'intéresse à un des principaux éléments du milieu naturel et particulièrement à la présence, la circulation et les propriétés de l'eau à la surface de la terre ou à proximité. Les réalisations des dernières décennies ont surtout porté sur le perfectionnement des appareils, la modélisation des bassins hydrographiques et l'analyse des processus du

cycle hydrologique. Les modèles théoriques dérivés de ces études peuvent être appliqués à l'examen des bassins hydrographiques qui n'ont pas fait l'objet de relevés instrumentaux. Ces travaux sont à la base de la paléohydrologie.

Le travaux paléohydrologiques peuvent se rapporter à n'importe quelle période de l'histoire de la Terre. La paléohydrologie quaternaire a particulièrement bien réussi à déterminer les paramètres physiques des environnements. Puisque le ruissellement de l'eau et l'apport sédimentaire dépendent du climat (précipitations et rapport température/évaporation), de la végétation (qui dépend en partie du climat) et des sédiments superficiels, la paléohydrologie est devenue un domaine interdisciplinaire à laquelle contribuent largement la climatologie, l'écologie, la géomorphologie, la géologie et l'hydrologie. Lorsque l'on analyse l'ancien environnement du bassin hydrologique d'un réseau quelconque, des études de terrain et des modèles appropriés peuvent généralement fournir des données permettant l'estimation de certains éléments. Par exemple, on peut déterminer les caractéristiques des sédiments ainsi que la charge à l'aide d'études limnologiques des lacs du bassin, de l'étude des dépôts de plaines d'inondation et des terrasses fluviatiles et on peut déterminer le débit d'une source grâce aux variations des lits des méandres en fonction des versants de la vallée.

Au niveau international, la paléohydrologie du Quaternaire se penche sur un certain nombre de points importants. Ceux-ci comprennent l'étude des brusques variations du réseau hydrologique causées par l'action humaine sur la végétation, particulièrement le déboisement et l'argiculture, le patron hydrologique des régions paléopériglaciaires fréquemment touchées par le pergélisol et l'évolution des réseaux hydrographiques, et des profils de vallées associés, lors de l'Holocène récent et des interglaciaires. Parmi les autres sujets d'intérêt se trouvent l'origine et l'âge des anciennes eaux souterraines des bassins artésiens et l'identification de chenaux enfouis sous des sédiments fluviatiles et glaciaires, sources éventuelles d'eau souterraine. La paléohydrologie karstique s'intéresse à l'origine et au développement d'anciens éléments karstiques, en surface ou souterrains, et aux environnements superficiels associés aux sédiments sous-jacents.

La paléohydrologie a considérablement attiré l'attention des scientifiques soviétiques et européens et un programme géologique international (IGCP 158) étudie la paléohydrologie de la zone tempérée des 15 000 dernières années. Cependant, mis à part d'importantes études karstiques et quelques projets de recherches individuels, la paléohydrologie se développe lentement au Canada.

5.4.10 Néotectonique

Plusieurs région du Canada ont connu au Quaternaire des soulèvements de la croûte ainsi que des affaissements, des inclinaisons et des plissements. Certaines variations ont été associés à des processus tectoniques et d'autres, plus nombreuses encore, ont été associées directement ou indirectement à l'augmentation de la charge portée par la croûte et aux contrecoups de la glaciation.

L'ouest canadien, soumis à l'activité de la bordure ouest de la plaque de l'Amérique du Nord, est la région la plus propice à l'étude néotectonique au Canada à cause de sa sensibilité aux accidents naturels (séismes surtout). Les travaux effectués ont porté sur la description de quelques traces de failles actives au Yukon et dans le secteur de Kootnay (C.-B) et la recherche, encore infructueuse, de failles actives reliées aux importants séismes survenus en Colombie-Britannique en 1946 et en 1918 entre autres. Sur l'île de Vancouver, au-dessus de la zone de subduction associée à la dorsale Juan de Fuca, des mesures de nivellement, de traingulation, l'analyse des marégraphes et des travaux de microgravité, ainsi que des données semblables recueillies dans les états de Washington et de l'Oregon, confirment l'existence d'une activité de subduction et indiquent l'éventualité d'un séisme important en bordure de la plaque. Les données relatives aux changements du niveau marin à l'Holocène contribuent grandement à placer ces mesures historiques en perspective. Puisque aucun séisme important n'a eu lieu au cours des 180 à 150 dernières années, on doit étudier la séquence géologique de l'Holocène pour relever, directement ou indirectement, des indices d'anciens séismes. Les indices directs sont les changements rapides de faciès causés par des soulèvements ou des effondrements cosismaux tandis que les indices indirects sont les dépôts périodiques pouvant représenter des ruptures de pentes au cours de forts tremblements d'origine sismique. Dans cette optique, la cartographie des glissements de terrain et des éboulements importants peut conduire à de nouvelles évaluations de probabilités sismiques.

Comparativement à l'Ouest, l'Est du Canada et l'Arctique sont des régions inactives au point de vue tectonique bien qu'il soit reconnu que des séismes de

magnitude 7 dans le golfe du Saint-Laurent et dans la région des Grands bancs de Terre-Neuve aient causé des effondrements importants de la marge continentale et le transport des sédiments sur des distances de plus de 1200 km vers le sud, dans l'Atlantique. La recherche en néotectonique non glaciaire est entravée par les taux de déformation lents et la destruction, au cours de la dernière glaciation, de la plupart des données pré-holocènes. Quoi qu'il en soit, les zones d'activité sismique relativement forte laissent supposer des déformations séculaires de la croûte et, dans les Maritimes, l'étude des lignes de rivage interglaciaires a isolé une composante d'origine non glaciaire du mouvement vertical. Des données sur l'orientation des contraintes dans la croûte ont confirmé que la partie du Canada située à l'est de la Cordillère est soumise à une compression venant du NE ou de l'ENE, fort probablement en réponse à la poussée de la chaîne résultant de l'expansion de la dorsale médio-atlantique ou alors du frottement sur la base de la plaque de l'Amérique du Nord lors de son mouvement vers le sud-ouest. Bien qu'il reste encore à éclaircir certaines anomalies locales, l'identification de ce domaine de contrainte à l'échelle du continent relie la plupart des déformations néotectoniques contemporaines, à l'exception du soulèvement postglaciaire, à la tectonique des plaques.

La déformation verticale causée par l'élimination de la charge lors de la déglaciation est au coeur de la néotectonique séculaire de l'Est, où les recherches conduiront à l'élaboration de modèles rhéologiques raffinés de la croûte et à la délimitation du mode de déglaciation, données nécessaires à la compréhension des variations du niveau marin et du climat à l'Holocène, au Canada et dans le monde entier. À certains endroits, comme les Grands Lacs, ces taux sont suffisamment élevés pour influer sur les activités humaines, le soulèvement de l'embouchure du lac Ontario par exemple a entraîné une hausse du niveau moyen de l'eau à l'extrémité sud-ouest du lac de façon à accroître sensiblement l'érosion du rivage.

5.4.11 Archéologie de l'environnement

L'archéologie de l'environnement s'intéresse à l'analyse et à l'interprétation de matériaux éventuellement produits en milieu quaternaire naturel et recueillis à l'intérieur de sites archéologiques. Ces derniers recèlent souvent une abondance de matériaux qui pourraient être étudiés par les géologues. Ce sont entre autres des restes végétaux (charbon, graines carbonisées ou pollen par exemple) ou animaux (os, coquilles, chitine) ainsi que des sédiments et des sols. Leur présence dans un site archéologique peut provenir d'une intervention humaine directe (déboisement entraînant un changement dans la séquence pollinique locale par exemple) mais, même en l'absence d'une intervention humaine (dépôt de cendres volcaniques par exemple), ces matériaux peuvent refléter la nature du milieu de vie des hommes.

Dans le passé, les archéologues demandaient habituellement aux spécialistes d'autres disciplines (zoologie, botanique, etc.) d'analyser ces matériaux. Toutefois, au cours des vingt à trente dernières années, les archéologues de l'environnement se sont de plus en plus chargés de ces tâches, et ce pour les trois raisons suivantes: (a) les matériaux archéologiques sont souvent moins bien préservés que ce dont les spécialistes ont l'habitude; (b) l'analyse des matériaux archéologiques ne présentait d'intérêt que si elle aidait également à résoudre un problème dans une autre discipline et (c) les archéologues sont plus en mesure de connaître l'information à tirer des données en fonction des problèmes archéologiques.

L'archéologue de l'environnement peut se définir comme un spécialiste de l'étude des anciennes sociétés humaines par le biais de l'analyse de l'environnement naturel. Au Canada, le principal domaine de l'archéologie de l'environnement est la zooarchéologie, l'étude des restes animaux trouvés dans des sites archéologiques. Cette importance s'explique par le fait que les restes animaux sont répandus dans les sites et faciles à récupérer puisqu'il est relativement facile d'établir des collections comparatives et que les analyses de base n'exigent en général qu'un minimum d'aptitudes techniques. La zooarchéologie est la spécialité de l'environnement qui figure le plus souvent sur les listes des départements d'anthropologie et d'archéologie[1]. La géoarchéologie (étude des restes végétaux, habituellement les graines et le charbon) et les applications de la palynologie en archéologie (domaine habituellement distinct de la paléoethnobotanique) sont des domaines moins populaires que l'archéologie de l'environnement. Le guide des Musées nationaux ne mentionne que sept postes universitaires occupés dans ces disciplines comparativement à sept en zooarchéologie.

Il existe probablement, dans de nombreux départements universitaires offrant des cours spécialisés en archéologie, un manque de communication au sujet des méthodes, des objectifs et du potentiel de l'archéologie de l'environnement. Cette tendance est quelque peu déroutante en raison de l'importance de l'écologie dans l'archéologie de

1 Musée national de l'Homme, 1982, Guide to Departments of Anthropology and Archaeology.

l'Amérique du Nord et du fait que les données environnementales excèdent douvent le nombre d'artéfacts mis au jour.

Au niveau des études supérieures, la situation est moins alarmante. De nombreux étudiants sont attirés vers les départements qui offrent des spécialités reliées à l'environnement. On en trouve à l'Université Simon Fraser (département d'archéologie) qui dispense des cours en zooarchéologie, en géoarchéologie et en archéométrie, à l'Université de l'Alberta (département d'anthropologie) qui offre descours en zooarchéologie et en palynologie et à l'Université de Toronto (département d'anthropologie) qui offre des cours en zooarchéologie et en paléoethnobotanique. De nombreux départements sont en contact avec ceux de biologie, géographie, géologie, physique et chimie et les étudiants de niveau supérieur bénéficient souvent de ces relations qui leur permettent d'élaborer d'intéressants projets de recherche interdisciplinaires.

La recherche en archéologie de l'environnement s'effectue également en-dehors du cadre universitaire. Des organismes fédéraux et provinciaux (musées nationaux et provinciaux, Parcs Canada et fonctionnaires provinciaux spécialisés en archéologie par exemple) effectuent des excavations et font rapport des résultats. De plus, des contrats d'archéologie effectués par des consultants indépendants ont généré des centaines de rapports d'excavation dans certaines régions du Canada. Malheureusement, la qualité des travaux en archéologie de l'environnement est extrêmement variable.

Actuellement, les principaux objectifs de recherche en archéologie de l'environnement au Canada sont l'analyse des environnements préhistoriques dans lesquels ont évolué des sociétés humaines et l'établissement de la nature des interactions entre les hommes et l'environnement. En raison de l'immensité du Canada et du nombre réduit d'archéologues, des travaux exploratoires élémentaires sont encore requis dans de nombreuses régions. De plus, la problématique varie habituellement selon les changements généraux du climat universitaire. On note par exemple un intérêt manifeste quant aux processus de formation des sites, ce qui inclut l'étude de la préservation des restes organiques et des conditions géomorphologiques de destruction ou de préservation des sites. On note également un intérêt général quant à la mise au point de méthodes d'analyse plus efficaces (analyses microscopiques de surfaces osseuses, analyses des isotopes stables et techniques améliorées de récupération par exemple). Parmi les travaux récents dans le domaine de l'archéologie de l'environnement qui ont mérité une reconnaissance internationale, citons le travail des Musées nationaux et de l'Université de Toronto dans le bassin Old Crow, le perfectionnement des études d'isotopes stables aux Universités Simon Fraser et McMaster et les analyses sanguines du Musée provincial de la Colombie-Britannique.

La plupart des programmes de recherche universitaires disposent probablement de sources de financement adéquates, toutefois, des lacunes existent en ce qui concerne le financement destiné à la création d'installations importantes. Les deux principales collections comparatives de vertébrés se trouvent à Toronto et Ottawa, ce qui entraîne nécessairement des déplacements pour ceux qui mènent des études zooarchéologiques sérieuses. Un grand nombre d'archéologues tentent présentement de bâtir des collections régionales valables à l'usage des étudiants et des facultés mais ne sont pas financés pour l'embauche d'un technicien ou l'aménagement d'installations (aire d'entreposage spéciale, etc.).

Des travaux valables en archéologie de l'environnement sont en cours au Canada mais la pertinence de ce sous-domaine n'est souvent pas appréciée à sa juste valeur par ceux qui occupent des postes supérieurs dans la supervision des travaux archéologiques, particulièrement à l'échelle provinciale.

5.5 Reconstitution des environnements quaternaires

Bien que le milieu naturel soit la clef de voûte du Quaternaire, la croissance rapide de sous-domaines spécialisés menace toujours l'unité de la discipline en raison d'une éventuelle absence de communication. C'est dans la délimitation entre la recherche terrestre et la recherche marine en zone littorale que ce danger est le plus tangible.

Bien qu'un des principaux objectifs du Quaternaire soit la description et l'analyse du milieu naturel, la méthodologie dépend de l'échelle considérée. À l'échelle microscopique de l'étude de la sédimentation dans le chenal d'une rivière par exemple, l'identification des processus fluviatiles en cause permet d'effectuer des prédictions réalistes quant aux modifications futures du chenal. Par contre, à l'échelle macroscopique de l'étude environnementale des Prairies au milieu du dernier interglaciaire par exemple, les travaux prennent souvent la forme d'une série d'analyses faiblement reliées, portant sur des phénomènes isolés.

Dans le domaine du Quaternaire, une méthodologie globale assurant une vue d'ensemble des anciens environnements pourrait consister à aborder dans cette optique la circulation d'énergie et de matière au sein du relief. Elle serait le prolongement des méthodes analytiques déjà en usage dans l'étude des environnements contemporains. D'ailleurs, on recourt de plus en plus souvent à cette méthodologie dans les disciplines reliées au Quaternaire, comme la géochimie, la géomorphologie, la pédologie et l'écologie.

5.6 Collaboration

Cette enquête sur les disciplines liées à la géologie du Quaternaire met en relief le large éventail de connaissances, propres aux disciplines physiques, biologiques et humaines, qu'exige la solution des problèmes reliés à cette branche des sciences de la Terre. Un problème particulier peut ne relever que de quelques spécialités mais le quaternariste doit être suffisamment renseigné sur tous les domaines de façon à pouvoir porter un jugement global sur la pertinence d'une éventuelle collaboration multidisciplinaire.

Les répondants ont souligné à de nombreuses reprises l'importance de cette collaboration.

> "Une optique multidisciplinaire est essentielle si nous voulons comprendre, avec un maximum de certitude, la complexité des environnements préhistoriques." (Archéologue)

> "Cette collaboration est essentielle et doit être réciproque. D'abord le chercheur spécialisé dans une de ces disciplines a souvent besoin de la géomorphologie et de la géologie galciaire pour obtenir certains détails ou la vue d'ensemble qui lui échappent. Réciproquement, proximité des grands centres, et la recherche de nouvelles sources se poursuit continuellement la possession des connaissances sur les processus actuels ou subactuels doit s'appuyer sur les données de disciplines plus spécialisées telles que l'hydrologie et l'hydraulique." (Géomorphologue)

> "Les problèmes sont trop complexes pour qu'une discipline unique puisse les résoudre." (Géologue)

> "Les problèmes sont de nature multidisciplinaire. La clef permettant de déchiffrer les anciens climats réside dans l'amalgame des méthodologies de nombreuses disciplines." (Climatologue)

> "La collaboration permet d'obtenir des renseignements et des idées plus rapidement que par la lecture des publications." (Biologiste)

Les résumés sur les sous-domaines du Quaternaire font ressortir qu'au Canada, l'activité déployée dans un grand nombre d'entre eux insuffisante pour permettre la participation à des travaux multidisciplinaires en Quaternaire et favoriser l'avancement de chacun des sous-domaines. La glaciologie et la paléoclimatologie sont manifestement négligées. Même si des scientifiques travaillent activement dans tous les domaines et sous-domaines, il faut avouer que le nombre de scientifiques est faible et qu'ils sont trop largement disséminés.

Nous suggérons, dans la section portant sur les études et la formation en Quaternaire, que les étudiants au niveau du doctorat devraient avoir facilement accès aux spécialistes de tous ces sous-domaines. L'éventail de connaissances spécialisées dans les principaux centres d'études quaternaires des États-Unis et de l'Europe illustre la vraisemblance de cet objectif qui n'est cependant pas facilement réalisable au Canada à l'heure actuelle.

En raison de l'importance en Quaternaire des données de différentes spécialités, la collaboration entre les scientifiques est essentielle. Celle-ci se manifeste dans certains cas sous la forme d'importants projets multidisciplinaires ou, lorsque cela est impossible, de scientifiques travaillant individuellement mais faisant appel à des moyens spécialisés de l'extérieur. À la question nº 19 qui demandait si une collaboration multidisciplinaire était essentielle, 83% des répondants ont affirmé qu'elle était essentielle à la réalisation de leurs objectifs de recherche en ajoutant toutefois à l'occasion une mise en garde pour éviter les attentes excessives:

> "La collaboration est utile mais non essentielle. Les quaternaristes en milieu universitaire ou gouvernemental se préoccupent principalement du passé mais nous, nous travaillons dans le présent et regardons vers l'avenir." (Géomorphologue du secteur privé)

Le traitement des réponses fournies à la question 17 (Collaborez-vous régulièrement avec des chercheurs de spécialités différentes?) a démontré l'existence d'une collaboration importante qui est

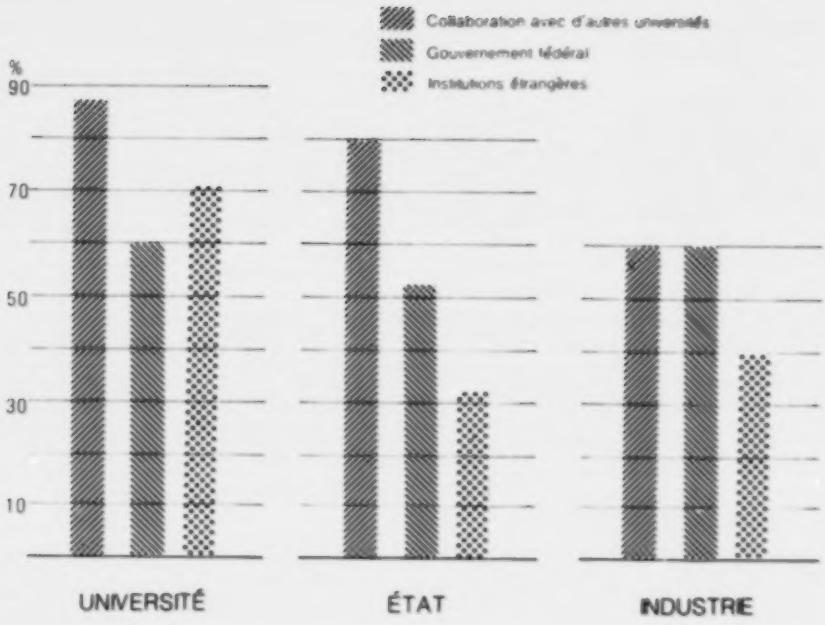


Figure 5,2

Collabotration entre scientifiques selon les aires d'emploi.

toutefois inégalement répartie entre les principaux secteurs. La collaboration s'exerce principalement entre les scientifiques de différentes universités et entre les universités, le secteur privé et le gouvernement fédéral. Les scientifiques universitaires collaborent deux fois plus que le gouvernement ou le secteur privé avec les quaternaristes étrangers (fig. 5,2).

6 Applications de la géologie du Quaternaire

Les applications des méthodes, des conclusions et des observations de la géologie du Quaternaire au service de la société sont aussi nombreuses que variées. Bien que le principal objectif du Quaternaire, la description et la chronologie des anciens environnements, n'exerce pas une influence directe et immédiate sur le présent, les sédiments superficiels et les formes de relief associés à ces environnements forment le décor où se déroule la vie de notre pays. Les sols, considérés des points de vue de l'agriculture et de l'ingénierie, les ressources superficielles d'agrégats, les tourbières, les placers, la géomorphologie, l'hydrologie et les accidents naturels d'origine géophysique sont tous étroitement liés à des événements géologiques survenus au Quaternaire. Une compréhension parfaite des propriétés de ces ressources fondamentales repose sur la connaissance du Quaternaire.

6.1 Études géotechniques

Les propriétés mécaniques et le comportement de séquences sédimentaires superficielles résultant d'un épisode glaciaire sont régies par les changements du sol au cours de phases ultérieures, telles que les avancées glaciaires et la submergence lacustre et marine, et par les modifications entraînées par les changements géomorphologiques et climatiques subséquents. Par conséquent, la connaissance de l'histoire géologique du Quaternaire est une étape essentielle, en particulier, dans le domaine du génie vicil lors de l'analyse d'emplacements potentiels de chantiers et, en général, dans le cadre d'études géotechniques de sols. Les applications de la géologie du Quaternaire en géotechnique ne sont pas restreintes aux sédiments glaciaires, proglaciaires, paraglaciaires et périglaciaires mais comprennent aussi la modification des matériaux terrestres par les glaciers et, durant les épisodes non glaciaire, par la glace des sols touchés par le pergélisol. Les études géomorphologiques et de mécanique des sols portant sur la stabilité de pentes naturelles et d'un grand nombre de pentes artificielles doivent manifestment

tenir compte des propriétés des sédiments quaternaires et de l'histoire de l'environnement.

Les études géotechniques de sédiments superficiels du Quaternaire commencent à jouer un rôle de plus en plus important dans les études environnementales portant sur la gestion des déchets industriels et les effets des précipitations acides.

6.2 Études de terrain

Les études de terrain sont basées sur le fait que les paysages peuvent être classés en unités (d'échelle variable) où existe un certain degré d'uniformité sur le plan des pentes, du relief, des sédiments superficiels, de l'humidité des sols et du pergélisol. Les études initiales peuvent comporter principalement sur la cartographie de secteurs et leur description; les études ultérieures sur la dynamique de l'évolution des terrains à l'Holocène assurent une meilleure compréhension des propriétés de surface et servent à l'extrapolation des propriétés de terrains situés dans des régions encore partiellement inexplorées. En fait, l'importance des études de terrain est maximale dans les régions les plus éloignées où elles fournissent les renseignements essentiels à de nombreux processus d'aménagement.

Tableau 6.1 Accidents naturels d'origine géophysique ou géomorphologique

Séisme	
Tsunamis	
Éruption volcanique	
Raz de marée	
Avancée glaciaire rapide	
Tempête de poussière (de sable)	
Accident fluviatile (innondation, érosion, abandon de méandres, etc.)	
Changement littoral d'origine marine	
Mouvement des iceberg et érosion	
Formation sous-marine de pingo	
Mouvement de masse	
rapide:	éboulement
	avalanche de neige (de débris)
	glissement de terrain
	écoulement de boue (de débris)
	effondrement sous-marin et turbidites
Mouvement de	
masse lent:	reptation du sol (des roches)
	solifluxion

6.3 Géochimie d'exploration

Un des principaux domaines d'application de la géochimie est l'exploration minérale grâce à la prospection des dépôts glaciaires. Le till sert habituellement à l'identification des composés minéraux distincts dispersés à partir d'un affleurement et alignés au cours de la glaciation. La situation se complique lorsque le till a été recyclé lors de glaciations subséquentes. Les sédiments fluviatiles et lacustres d'origine glaciaire peuvent également servir à cet usage.

Cette méthode d'exploration s'est avérée fructueuse dans certaines régions du Canada au cours des trente dernières années et est actuellement mise à l'essai, raffinée et utilisée par tous les organismes géologiques gouvernementaux provinciaux ainsi qu'au niveau fédéral et par un nombre croissant d'entreprises privées.

6.4 Ressources non métalliques du Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont les principales sources de sable et de gravier du Canada. Le gravier provient principalement de matériaux d'origine glaciofluviatile, fluviatile (terrasses, plaines d'innondation) et glacio-deltaïque. La production annuelle de gravier excède 500 millions de dollars. Bien que les réserves de gravier soient importantes, celles-ci s'appauvrissent localement, surtout à

Les tourbières couvrent environ 15% ($1{,}5 \times 10^6$ km^2) du Canada. Pratiquement tous les dépôts de tourbe se sont formés durant les changements environnementaux de l'Holocène. On en retire des sols agricoles (280×10^3 hectares), de la tourbe horticole et une source d'énergie potentielle comparable aux ressources de pétrole et de charbon du pays.

L'argile, la marne et le sulfate de sodium comptent parmi les autres ressources minérales non métalliques du Quaternaire.

6.5 Les placers

On trouve des placers aurifères d'âge quaternaire et cénozoïque tardif dans de nombreuses parties du pays. D'origine principalement alluvionnaire, un grand nombre d'entre eux sont situés dans des régions n'ayant pas subi de glaciation (certaines parties du Yukon par exemple), des régions où les glaces n'ont pas réussi à déplacer les dépôts alluvionnaires préglaciaires (comme dans la partie centrale de la Colombie-Britannique) ou encore dans des régions ayant connu une concentration alluvionnaire d'or détritique à l'Holocène.

6.6 Sols agricoles

Les sols sont à la base des industries agricole et forestière. Les sols canadiens dérivent de sédiments pléistocènes et holocènes ayant subi des changements superficiels d'origine naturelle; processus climatiques, hydrologiques et biologiques, ou d'origine artificielle, c'est-à-dire, humaine. L'évolution des sols s'échelonnant sur des siècles et même des millénaires, l'histoire des environnements quaternaires permet de comprendre la nature du matériau d'origine des sols et la modification des conditions dynamiques lors de leur formation.

6.7 Aménagement du territoire (accidents naturels)

Les catastrophes d'origine géophysique, notamment les innondations, les séismes, les glissements de terrain ou les éruptions volcaniques, ont été considérées par l'humanité comme des calamités indomptables. Bien que le degré d'influence demeure souvent faible, la géologie dispose de statistiques sur leur probabilité, leur répartition à la surface de la Terre et d'une compréhension des processus en cause. Les études sur les accidents naturels acquièrent de plus en plus d'importance à mesure que les habitations et l'exploitation atteignent des régions qui ont peu d'expertise en ce qui a trait aux accidents naturels. Au Canada, cela s'observe particulièrement dans la Cordillère de l'Ouest, même si ces accidents se produisent dans toutes les régions du pays.

La prévision des accidents naturels demande de pouvoir établir l'écart par rapport aux conditions normales ou stables, ce qui comprend la notion de force et de fréquence de ces déviations. Pour un emplacement donné, il peut être nécessaire de connaître les événements géomorphologiques ayant eu lieu lors des derniers millénaires (c'est-à-dire, tout au long de l'Holocène) ou, dans le cas de la gestion des déchets, pour des périodes encore plus longues.

La pertinence de la géologie du Quaternaire est évidente. Les études portant sur les accidents naturels ou la stabilité à long terme d'un emplacement sont, ou devraient être, une partie intégrante des travaux d'aménagement du territoire.

6.8 Aspect pratique du travail des quaternaristes

Les sections précédentes (6.2-6.6) décrivent les nombreux secteurs de l'activité humaine canadienne auxquels le Quaternaire collabore. Le degré de participation varie évidemment de pratiquement 100%, par exemple, dans l'élaboration de méthodes de prospection de traînées de matériaux glaciaires où la présence de quaternaristes très compétents est essentielle, à de nombreux cas où des spécialistes sans formation spéciale en Quaternaire doivent uniquement maîtriser un certain nombre de notions. Il nous semble aberrant que la formation universitaire en aménagement du territoire, des ressources et en aménagement régional et urbain ne comprenne que rarement une introduction au Quaternaire.

Malgré les nombreuses applications de la géologie du Quaternaire, 13% des répondants seulement ont écrit qu'ils évoluaient principalement dans le secteur privé. Ce pourcentage minimise le rôle des quaternaristes dans l'expansion économique du Canada. Les ingénieurs et les spécialistes en aménagement ne reconnaissent souvent pas le fait que toute personne oeuvrant dans les secteurs privé et gouvernemental et engagée dans l'aménagement du territoire et du milieu naturel ont recours, à un degré ou à un autre, aux résultats des études quaternaires.

6.9 Recommandation: géologie appliquée

Les universités et autres institutions offrant une formation professionnelle en génie civil, en pédologie, en foresterie et sur les nombreux aspects de l'aménagement du territoire (régional, ressources, environnement, urbain) devraient dispenser des cours multidisciplinaires sur l'histoire du Quaternaire et la description des événements associés en plus de cours quaternaires spécialisés, comme la géotechnique.

7 La profession de quaternariste

Nous croyons que les quaternaristes sont au nombre de 300 à 400 au Canada. Il est difficile d'avancer un chiffre plus précis en raison des nombreuses spécialisations quaternaires. Un fonctionnaire fédéral engagé à plein temps dans des

travaux stratigraphiques au Quaternaire est sans contredit un quaternariste. À l'autre bout de l'échelle, le travail d'un ingénieur consultant en aménagement du territoire dans les zones littorales travaille exclusivement en Quaternaire appliqué. Les réponses reçues montrent une forte tendance en faveur du premier type et nous n'avons souvent pas réussi à identifier les membres du second groupe lorsque nous avons fait parvenir les questionnaires.

Le questionnaire ne demandait pas aux répondants de se décrire sur le plan professionel mais les commentaires accompagnant les réponses indiquent que dans le secteur gouvernemental, le terme Quaternaire apparaît dans la description de la tâche (géologue du Quaternaire par exemple), dans le milieu universitaire, le titre se réfère à une discipline principale (archéologue par exemple) et dans le secteur privé, le titre est encore plus général (ingénieur en aménagement du territoire par exemple). Dans les divers secteurs, la perception différente de l'importance du terme Quaternaire dans la description de la tâche est un des facteurs responsables du peu d'intérêt quant à l'adhésion à un corps professionnel (voir 7.1).

Une forte proportion (70%) des quaternaristes ayant répondu au questionnaire possèdent un doctorat, ce qui n'est pas étonnant en raison du grand nombre d'entre eux (55%) employés par les universités (parmi lesquels 95% ont un doctorat) et de ceux (19%) employés à la fonction publique fédérale. Dans ces deux cas, le doctorat constitue habituellement un prérequis à l'embauche. La plus forte proportion de répondants détenant un doctorat (dans tous les secteurs) se trouve en Colombie-Britannique et la plus faible proportion, dans les Maritimes et en Ontario. En Ontario, de nombreux répondants du secteur privé détiennent des maîtrises et des baccalauréats (fig. 7.1).

7.1 Expérience de travail et âge des quaternaristes

Le questionnaire ne demandait pas l'âge des répondants mais à partir du nombre d'années d'expérience de travail, des conclusions générales ont pu être tirées (fig. 7.2). À l'échelle nationale, la main d'oeuvre en Quaternaire s'est accrue lentement durant les années 50, puis plus rapidement vers la fin des années 60 et l'accroissement s'est poursuivi, quoique plus lentement après le milieu des années 70. En Ontario, ces tendances semblent s'être manifestées plus tôt et si on l'exclut, l'accroissement dans les autres àprovinces s'est effectué de façon constante jusqu'à maintenant.

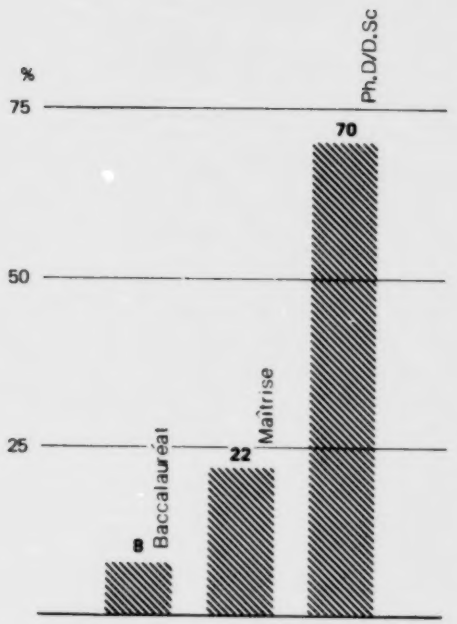


Figure 7.1. La majorité des répondants détiennent un doctorat.

Dans l'optique des postes à suppléer à la suite de retraites, il ressort clairement que le nombre de quaternaristes à l'approche de l'âge de la retraite est étonnament faible, 8% de la main d'oeuvre a plus de 34 années d'expérience, la majorité de ce groupe est probablement dans la soixantaine. Si ces données sont représentatives de l'ensemble des quaternaristes canadiens, et non seulement de ceux qui ont répondu au questionnaire, on peut estimer qu'annuellement trois personnes en moyenne quitteraient la main d'oeuvre active et ce nombre ne s'accroîtra pas pendant encore au moins une décennie.

7.2 Répartition géographique

Les données relatives au lieu de travail (à ne pas confondre avec le lieu des études de terrain) des quaternaires canadiens indiquent nettement une concentration à proximité des principales agglomérations urbaines.

Les listes d'envoi n'ont pas permis d'identifier les consultants travaillant dans les domaines de l'aménagement du territoire (quaternaire) mais il est permis de croire que leur addition au tableau 7.1

accroîtrait considérablement les chiffres se rapportant à Halifax, Montréal, Toronto et Victoria/Vancouver.

7.3 Spécialisation selon les disciplines

Un des buts du questionnaire était d'évaluer le nombre de quaternaristes évoluant dans les différents domaines et de déterminer les sous-domaines d'importance. Les principaux objectifs de la géologie du Quaternaire (fig. 5.1) sont l'étude de la géomorphologie quaternaire et des sédiments associés. Par conséquent, on peut affirmer que ces domaines sont propres à la discipline. Le principal domaine de recherche des deux cinquièmes (43%) des répondants était un de ces deux domaines, qui figuraient en première ou deuxième place dans plus de la moitié des réponses.

Les principaux domaines de recherche étaient presque également divisés à l'intérieur du noyau de la géologie du Quaternaire, c'est-à-dire, l'étude de la surface de la terre (géomorphologie: 20%) et des sédiments superficiels (géologie du Quaternaire, sédimentologie, stratigraphie: 23%). Un aspect important des données est le nombre relativement faible des répondants (27%) engagé dans un seul domaine (70% ou plus du temps consacré à la recherche). Cette tendance, particulièrement évidente à l'intérieur de la catégorie centrale, démontre que les divisions connexes plus larges ne sont pas mutuellement exclusives et que de nombreux répondants estiment collaborer considérablement à l'avancement de certains domaines majeurs.

7.4 Spécialisation selon les environnements étudiés

La question 12, au sujet des principaux terrains étudiés, a permis de considérer la spécialisation sous un éclairage différent. On peut remarquer un intérêt marqué pour les phases glaciaires du Quaternaire

Tableau 7.1 Répartition géographique des quaternaristes

Ouest		Centre	
Victoria et île de Vancouver	27	Toronto	104
Vancouver	64	Région de la capitale nationale	106
Reste de la Colombie-Britannique	16	Sud-ouest de l'Ontario (Hamilton-Windsor, y compris Kitchener et Waterloo)	67
Territoire du Yukon	4		
Territoires du Nord-Ouest	24	Reste de l'Ontario	39
Calgary	56	Montréal	98
Edmonton	60	Québec	37
Reste de l'Alberta	19	Sherbrooke	18
Régina	10	Reste du Québec	32
Saskatoon	63		
Reste de la Saskatchewan	12		
Winnipeg	27		
Reste du Manitoba	8		

Est	
Frédéricton	10
Reste du Nouveau-Brunswick	2
Île du Prince-Édouard	3
Dartmouth - Halifax	48
Reste de la Nouvelle-Écosse	3
St. John's, Terre-Neuve	24
Reste de Terre-Neuve - Labrador	3

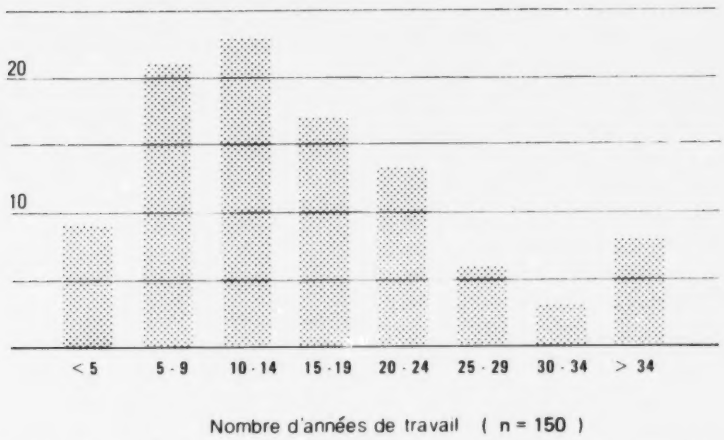


Figure 7,2. *Le nombre de nouveaux venus en Quaternaire a décliné durant la dernière décennie.*

(44%). Les réponses se sont aussi regroupé autour de deux autres environnements. Le milieu marin, comprenant les environnements transgressifs contemporains et postglaciaires a reçu 29% des réponses à l'échelle nationale, ce chiffre atteignant 57% dans les Maritimes. Le milieu "quasi glaciaire", comprenant les conditions périglaciaires, paraglaciaires et la toundra a reçu 25% des réponses. Il est manifeste que 5% des quaternaristes s'intéressent principalement aux environnements de basse et moyenne latitude du Pléistocène ou de l'époque actuelle et à leurs associations forestières et leurs associations de prairie. Ces données apportent une preuve supplémentaire du peu d'attention accordé aux intervales interglaciaires par la communauté quaternaire.

7.5 Spécialisation selon les terrains étudiés

Les réponses au questionnaire indiquent une répartition homogène des scientifiques en fonction des terrains étudiés dans les principales régions canadiennes (fig. 7.3).

7.6 Recherche en cours à l'extérieur de l'Amérique du Nord

Un petit nombre de quaternaristes ont indiqué avoir entrepris d'importantes recherches outre-mer. Près de la moitié de ces activités se tiennent dans l'ouest de l'Europe. Un répondant a indiqué être inscrit dans une université européenne au niveau du doctorat.

En raison de l'immensité du Canada, l'étendue des problèmes quaternaires et le petit nombre de chercheurs, il peut sembler superflu d'effectuer des travaux de recherche à l'extérieur du pays. Certains chercheurs croient que, pour ces raisons, les organismes de financement ne considèrent pas d'un oeil faborable les subventions destinées aux travaux outre-mer. Des enquêtes auprès du CRSNG n'ont pas réussi à confirmer, au moins dans le domaine des sciences de la Terre, l'existence d'une attitude semblable et les répondants ont indiqué avoir reçu des subventions du CRSNG et du CRSH (en archéologie) pour des travaux effectués à l'extérieur de l'Amérique du Nord. Même en tenant compte du fait que le tableau 7.3 sous-estime le nombre de quaternaristes travaillant outre-mer, le total est étonnamment faible. L'insuffisance de renseignements de première main relatifs à l'Antarctique (l'inlandsis de l'ouest de l'Antarctique constituant éventuellement l'équivalent contemporain le plus proche de l'indlandsis laurentidien du Pléistocène) et aux environnements quaternaires tropicaux est flagrante. Dans le domaine appliqué, l'aide extérieure apportée par le Canada dans le cadre d'études sur l'évolution des environnements naturels au Tiers-Monde était importante mais est en train de croître. Cette aide est fournie par des groupes de consultants et des organismes nationaux (ACDI, CRDI) et soulève la pertinence d'une meilleure connaissance des événements quaternaires dans les autres régions du monde. Dans le cas contraire, on doit insister sur l'importance d'acquérir des données de terrain de seconde main par le biais d'une participation aux conférences internationales, y compris les excursions, et d'un engagement auprès des commissions et des groupes de travail de l'Association internationale pour

l'étude du Quaternaire (INQUA), de l'Union internationale des sciences géologiques (UISG), de l'Union géographique internationale (UGI) et de l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI).

7.7 Fonctions des quaternaristes

Quatre principaux domaines d'emploi ont été identifiés: l'administration l'enseignement, la recherche et la consultation. Les scientifiques des trois secteurs, universitaire, gouvernemental et industriel, participent aux trois domaines (fig. 5.2). Dans les universités, l'enseignement et la recherche occupent sensiblement le même pourcentage de temps tandis qu'au gouvernement plus des deux tiers du temps est consacré à la recherche.

Tableau 7.2 Réponses à la question 7. Principaux domaines de recherche (en pourcentage)

Noyau de la géologie:	géomorphologie géologie glaciaire sédimentologie stratigraphie	43
Archéologie		15
Environnement	physique:climatologie pédologie pergélisol géographie physique	13
Géologie appliquée:	géologie économique géologie de l'ingénieur géochimie de l'environnement géotechnique hydrogéologie	12
Paléobiologie:	paléoécologie paléontologie palynologie	10
Géologie marine:	géologie marine océanographie	5
Géophysique:	géophysique glaciologie tectonique volcanologie	2

7.8 Le Quaternaire au gouvernement fédéral

7.8.1 La Commission géologique du Canada

À l'échelle nationale, le groupe de quaternaristes le plus important se trouve à la Commission géologique du Canada. En plus d'un personnel spécialisé dans le domaine du Quaternaire comptant environ 100 employés, elle embauche annuellement 40 à 50 étudiants, qui acquièrent ainsi la majeure partie de leur expérience de terrain. Elle octroit également des bourses et offre des conditions avantageuses aux boursiers du niveau post-doctoral et aux facultés universitaires. Par conséquent, il est indéniable que les programmes et les actions de la Commission géologique exercent une forte influence sur les travaux universitaires en Quaternaire et, dans une moindre mesure, sur le nombre d'étudiants qui se spécialisent dans cette discipline.

Les travaux quaternaires de la Commission géologique sont principalement menés par la Division de la science des terrains et par le Centre géoscientifique de l'Atlantique à Dartmouth, en Nouvelle-Écosse. Le premier est chargé des études terrestres et s'intéresse surtout à la cartographie, l'histoire glaciaire, la stratigraphie, la paléontologie, les études paléoclimatiques, la glaciologie et la géophysique. Les méthodes d'exploration minérale basées sur la prospection de trainées de matériaux glaciaires constituent aussi un aspect important. L'Holocène, le climat, la géologie urbaine et l'étude des eaux souterraines ne sont pas des secteurs prioritaires. Au cours des dernières années, les travaux en région nordique ont reçu plus d'attention, en partie à cause de l'accessibilité de ces régions mais aussi parce qu'un certain nombre de provinces assurent elles-mêmes la conduite de la plupart de leurs travaux quaternaires et par conséquent, la Division a repris certaines des fonctions de l'ancienne Division géographique qui travaillait surtout dans le Nord.

Tableau 7.3 Environnements (passés ou présents) drainant une forte proportion de la recherche (en pourcentage)

glaciaire	44
marin	29
climat d'envergure mondiale (périglaciaire, etc.)	25

1 Certaines réponses mentionnaient plus d'un environnement.

Afin d'accomplir son mandat, la Division de la science des terrains a un personnel complémentaire (données de 1986) d'environ 80 employés, comprenant 50 géologues et géographes, 7 géophysiens, et 6 biologistes, qui travaillent surtout sur les fossiles de végétaux et d'insectes. Deux groupes d'employés sont situés à Calgary, deux à Vancouver et le reste, à Ottawa. Les 17 autres membres de la Division sont surtout du personnel de soutien, notamment des secrétaires, des techniciens de laboratoire, des rédacteurs et des préposés aux finances.

Le Centre géoscientifique de l'Atlantique s'intéresse surtout aux travaux océanographiques au large de la côte est du Canada. Il ne possède pas d'unité quaternaire indépendante mais environ 21 membres de son personnel, notamment trois géochimistes, trois ingénieurs en géotechnique et deux paléontologues sont affectés à des études quaternaires portant sur des sujets tels que les processus de formation des lits marins, l'échantillonnage et la stratigraphie des fonds marins, la géophysique et les études paléoclimatiques. Ce personnel reçoit l'appui général du Centre géoscientifique de l'Atlantique.

Trente-quatre quaternaristes de la Commission géologique ont des doctorats, sur ce nombre, 21 portent sur le Quaternaire, le reste des scientifiques se sont intéressés au domaine après avoir commencé carrière. Près de la moitié (48%) des doctorats en Quaternaire ont été obtenus dans des universités canadiennes et la plupart des autres, aux États-Unis (40%).

Le nombre de quaternaristes à la Commission géologique est relativement stable depuis un certain nombre d'années et cette tendance ne devrait pas changer à court terme. Il ne fait aucun doute que la Commission continuera à favoriser les études géologiques et géographiques fondamentales et appliquées. La cartographie des dépôts quaternaires terrestres et océaniques continuera d'être son principal intérêt suivi des méthodes d'exploration minérale basées sur la prospection de traînées de matériaux glaciaires et des études stratigraphiques, paléoclimatiques et de pergélisol. L'étude des accidents naturels et les programmes coopératifs fédéraux-provinciaux suscitent un intérêt croissant.

7.8.2 Le Quaternaire dans d'autres ministères fédéraux

Bien qu'au gouvernement fédéral, le Quaternaire relève principalement du ministère de l'Énergie, Mines et Ressources, d'autres ministères fédéraux sont liés à certains domaines du Quaternaire, soit directement par le biais de recherche interne ou par des contrats effectués à l'extérieur. Ces ministères sont Environnement Canada où des recherches dans le domaine des paléoclimats, dans une perspective historique, et des eaux souterraines sont effectuées par le Service de l'environnement atmosphérique. De plus, des recherches menées à l'Institut national de recherches en hydrologie portant notamment sur l'hydrologie de la neige, la glaciologie et la géomorphologie de l'évolution des chenaux fluviatiles. Le ministère des Pêches et Océans utilise des images obtenues par satellite pour surveiller les courants océaniques et le transport sédimentaire et le Laboratoire océanographique de l'Atlantique participe à des programmes internationaux de surveillance des changements à long terme des interactions entre

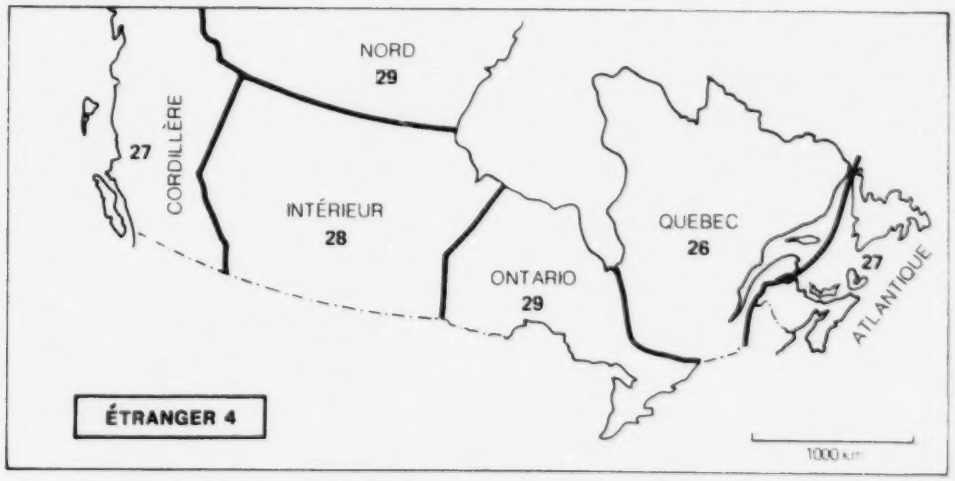


Figure 7.3. *Principaux lieux de travail et nombre de répondants.*

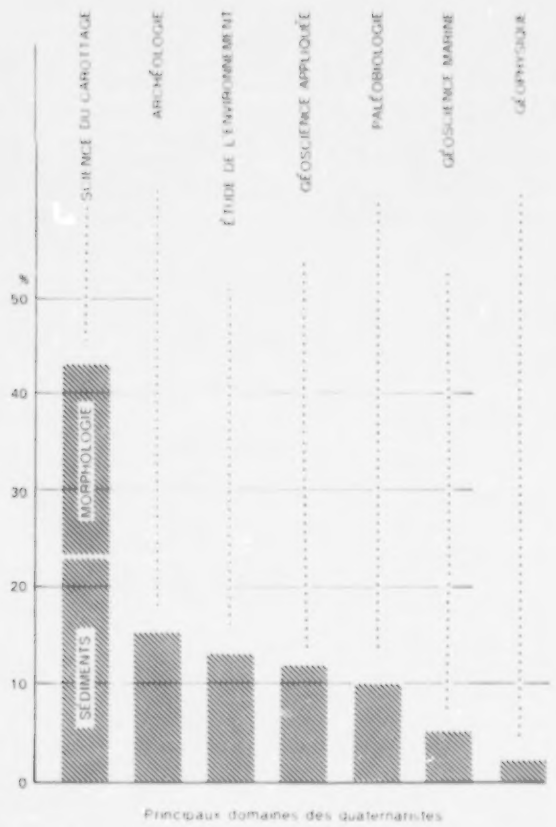


Figure 7.4. *Principaux domaines de recherche des répondants.*

l'océan et l'atmosphère dans le nord de l'océan Atlantique.

Le ministère des Affaires Indiennes et du Nord Canada continue de s'intéresser au Quaternaire et effectue des travaux de cartographie par le biais de son Bureau de géologie. Le Conseil national de recherches et sa Division des recherches en bâtiment s'intéressent à certains aspects de l'évolution du pergélisol au Quaternaire et à la géotechnique des sédiments et de la glace dans le sol au Quaternaire.

Une importante partie de la recherche quaternaire sur la paléobiologie est effectuée aux Musées nationaux du Canada (section 7.4.4).

7.9 Le Quaternaire dans les gouvernements provinciaux

Tous les gouvernements provinciaux, à l'exception de celui de l'île du Prince- Édouard, possèdent au moins une unité engagée dans la cartographie ou la stratigraphie quaternaires et les domaines associés. La situation est semblable d'une province à l'autre et se résume à la présence d'au moins un scientifique chargé de la cartographie avec un accent sur l'exploitation des ressources. Les programmes géochimiques d'analyse des éléments traces des sédiments fluviatiles ou lacustres d'origine glaciaire sont répandus. Bien qu'elles soient principalement orientées vers la découverte de gisements, certaines études théoriques portant sur des applications et sur la direction de l'écoulement des glaciers pléistocènes ont été réalisées. Entre 1977 et 1982, la Section de l'ingénierie et de la géologie des terrains de la Commission géologique de l'Ontario a commandé la préparation de cartes (à l'échelle de 1/100 000) et de rapports notant les conditions de terrain observées sur une superficie de quelques 400 000 km^2 de la province, principalement des régions situées au-delà du 44^e parallèle. Jusqu'à date, 127 rapports ont été publiés. Les Prairies mènent aussi des recherches paléohydrologiques. Des études en terrains organiques reliées à l'exploitation de la tourbe à des fins énergétiques et industrielles sont menées dans plusieurs provinces.

7.10 Contribution des musées à la recherche en géologie du Quaternaire

Les principaux musées canadiens d'histoire naturelle collaborent depuis fort longtemps à la géologie du Quaternaire malgré le petit nombre de scientifiques permanents qui y sont employés à plein temps. La dimension et le nombre des musées varient considérablement d'une région à une autre. La situation de l'Ontario est enviable (avec les Musées nationaux du Canada, à Ottawa et le Musée Royal de l'Ontario, à Toronto) mais elle est moins satisfaisante en Colombie- Britannique, en Saskatchewan et au Québec.

C'est aux Musées nationaux que l'on trouve le plus grand nombre de quaternaristes engagés dans la recherche et travaillant en muséologie. La division de la paléobiologie des Musées comprend trois scientifiques dans la section de zoologie du Quaternaire. La recherche porte principalement sur les vertébrés quaternaires et, dans une moindre mesure, la palynologie quaternaire et les problèmes paléomycologiques. Il faut déplorer le fait qu'un scientifique de la Division de la zoologie des invertébrés, qui avait rendu d'importants services au niveau canadien en identifiant des restes de mollusques provenant de dépôts quaternaires, a récemment pris sa retraite et n'a pas été remplacé. De plus, les scientifiques qui évoluent dans les musées participent activement à la promotion des efforts

Figure 7.5. *Répartition régionale des quaternaristes d'après les listes d'adresses. Les petits cercles représentent dix scientifiques.*

d'expansion des travaux de terrain en Quaternaire des musées provinciaux et locaux et à l'organisation d'expositions. Ils ont élaboré des expositions mobiles et une exposition permanente (représentant environ un tiers de la salle "Life Through the Ages"). Ils ont également produit une cinquantaine d'articles scientifiques et vulgarisés sur la vie au Canada durant le Quaternaire.

Un projet sur les changements climatiques amorcé en 1977 par les Musées nationaux a débouché sur un appui financier accordé aux chercheurs canadiens étudiant les variations climatiques du Quaternaire, quelques réunions nationales, une réunion internationale, cinq recueils d'articles multidisciplinaires et une exposition mobile traitant en partie des indices paléobiologiques de changements climatiques au Canada durant le Quaternaire.

Le Musée Royal de l'Ontario, en collaboration étroite avec l'Université de Toronto, a réalisé d'importantes collections de vertébrés quaternaires provenant du sud-est de l'Alberta et du sud-ouest de la Saskatchewan. Des collections ont également été réalisées à l'extérieur, particulièrement en Floride et dans d'autres parties des États-Unis et de l'Afrique.

7.11 Perspective d'avenir

7.11.1 Adhésion à un corps professionnel

Les avis sont partagés actuellement quant à la pertinence de l'accréditation professionnelle des géologues soit de façon indépendante ou dans le cadre d'un organisme existant. Dans le but d'analyser la réaction des quaternaristes au sujet de l'adhésion à un corps professionnel, la question 53 s'adressait aux répondants des secteurs gouvernemental et privé:

> "Considérez-vous que l'adhésion des quaternaristes à un corps professionnel ainsi que la normalisation et le contrôle de leur compétence au niveau national ou provincial soient des questions urgentes? Si oui, pourquoi?

La majorité des répondants n'ont pas répondu à cette question ou ont donné des réponses ambiguës qui laissaient présager du peu d'importance ou de la complexité du sujet. Les réponses catégoriques *apparaissent dans le tableau 7.4 (fig. 7.6).*

Tableau 7.4. En faveur de l'adhésion à un corps professionnel:

Oui 16

Non 33

Les arguments avancés en faveur de la création d'un corps professionnel comprennent l'établissement de normes et la diffusion des questions d'intérêt général. On prétend aussi que l'accréditation des quaternaristes leur permettrait de participer à des projets sur la gestion des déchets, la stabilité des pentes dans les sédiments superficiels, l'hydrologie et l'aménagement d'emplacements. Jusqu'à maintenant, seuls les ingénieurs accrédités peuvent soumissionner ces contrats. L'accréditation des quaternaristes est perçue comme une solution appropriée à ce problème.

Les deux tiers des répondants opposés à l'accréditation ont justifié leur position le plus souvent en invoquant la complexité de la géologie du Quaternaire et la diversité de l'expérience des quaternaristes. On a également mentionné que l'adhésion à un corps professionnel et l'accréditation n'étaient pas un gage d'excellence professionnelle.

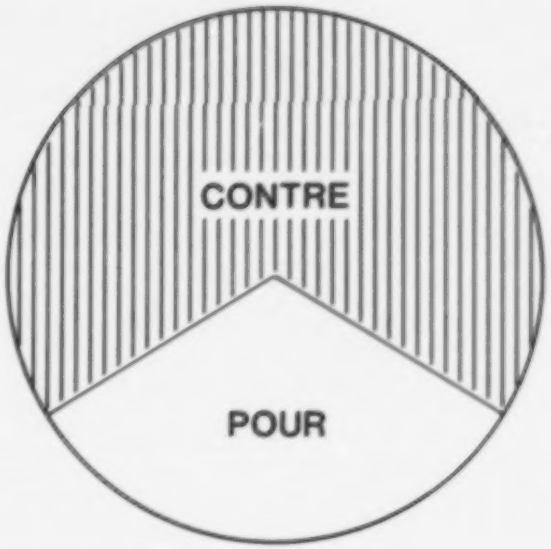
Une forte majorité de quaternaristes à l'emploi du gouvernement et du secteur privé s'opposent manifestement à l'adhésion à un corps professionnel.

Tableau 7.4 Scientifiques effectuant des travaux de recherche en Quaternaire à l'extérieur de l'Amérique du Nord[1]

(Canada et États-Unis)

Europe	13
Afrique	6
Australie/Asie	5
Antarctique	3
Amérique latine	2
Caraïbes	1
Autres	3

1 Nombre de répondants à la question 16: "Dans quelles régions du monde sont effectués la plupart de vos travaux de recherche en Quaternaire?"



Veut-on un ordre professionnel pour les quaternaristes ?

Figure 7.6. *Les quaternaristes ne sont pas en faveur d'une accréditation professionnelle.*

Ces derniers sont appuyés par l'Association canadienne pour l'étude du Quaternaire (CANQUA) qui, à sa réunion annuelle de 1985, décidait de superviser les motivations et les tendances quant à la mise sur pied d'un corps professionnel et se prononçait ainsi:

> "L'association pour l'étude du Quaternaire, association interdisciplinaire de sciences de la Terre affiliée à l'Association géologique du Canada, s'intéresse vivement à la proposition visant à apporter des restrictions supplémentaires en ce qui a trait à l'accréditation professionnelle des géologues. Elle insiste pour que l'expérience compétente soit le seul critère et s'oppose à l'établissement d'un comité national d'accréditation dont le mandat comprendrait la définition de programmes universitaires acceptables.
>
> Si des programmes universitaires étaient évalués individuellement dans l'optique de définir leur acceptabilité, l'Association insisterait pour que l'on accorde à toutes les disciplines qu'elle représente la possibilité de

soumettre des programmes alternatifs approuvés afin d'accréditer les quaternaristes".

Réunion annuelle, Lethbridge, 1985

7.11.2 Les finissants en Quaternaire et le marché de l'emploi

Le comité a recueilli un large éventail d'opinions quant aux perspectives d'emplois qui exigent des compétences dans le domaine de la recherche en Quaternaire (question 58 et entrevues). Le point de vue de 40% (27/66) des répondants du milieu universitaire est que les finissants en Quaternaire obtiennent des postes qui font appel à leur formation spécialisée. Actuellement, c'est dans les Prairies, particulièrement en Alberta, que cette affirmation se vérifie le moins bien. Cela semble refléter en partie la tendance générale du marché de l'emploi dans cette région et le fait que les employeurs potentiels dans le secteur industriel n'apprécient pas à sa juste valeur la formation specialisée des quaternaristes. Notons aussi dans les universités de l'Alberta, la forte proportion de maîtrises accordées en Quaternaire (tableau 8.1).

La plupart des réponses confirme le fait que les étudiants du premier cycle n'ont pas une formation en Quaternaire suffisante pour obtenir de nombreux types d'emplois dans cette spécialité. Au niveau de la maîtrise, les principales possibilités se situent généralement dans les domaines appliqués, notamment des évaluations d'impact environnemental et des études de terrain. À l'exception éventuelle des Prairies, il semble qu'une forte majorité de finissants en Quaternaire détenant une maîtrise obtiennent des emplois dans des domaines appliqués connexes que dans des domaines reliés directement au Quaternaire.

Bien qu'il ait été fait rapport au Comité de certains cas de finissants en Quaternaire, détenant un doctorat depuis peu et sans emploi, aucun quaternariste dans le réseau universitaire de bourses d'études du CRSNG n'a abandonné. Un revirement de la tendance actuelle du recrutement dans les facultés universitaires au début des années 90 entraînerait une lacune appréciable de quaternaristes à ce niveau.

Tableau 8.1 Diplômes d'études supérieures en Quaternaire

Doctorats		Maîtrises	
Université Dalhousie	6	Waterloo	12
Université Western Ontario	5	Université de Sherbrooke	10
Université McMaster	3	Université de l'Alberta	9
Autres universités canadiennes	16	Université d'Ottawa	9
		Université du Quebec à Montréal	9
		Université Dalhousie	8
		Université de Colombie-Britannique	8
		Autres universités canadiennes	42
	30		107

8 Études et formation en Quaternaire

8.1 Introduction

Le comité a été chargé d'améliorer la façon dont la géologie du Quaternaire répond aux exigences nationales. Cela sera accompli, à cours terme, par les scientifiques actuels qui élaborent et implantent de nouvelles applications de recherche et, à long terme, en sensibilisant la société au rôle du Quaternaire dans l'expansion nationale et en formant un plus grande nombre de scientifiques dans cette discipline.

Parmi les principaux objectifs à long terme figure l'amélioration de la qualité et de la quantité des cours offerts en Quaternaire tant au niveau secondaire qu'au niveau des études supérieures.

L'étude spéciale de 1971 (nº 13) du Conseil des sciences du Canada et intitulée "Earth Sciences Serving the Nation" a fait mention de la piètre qualité de l'enseignement en sciences de la Terre. Sa recommandation la plus importante mentionnait que les ministères provinciaux de l'Éducation devraient encourager et promouvoir l'enseignement des sciences de la Terre au niveau secondaire et que les principes scientifiques fondamentaux devraient être abordés dans le cadre de l'environnement naturel (p. 143). Des améliorations ont été constatées dans certaines provinces au cours des 15 années suivantes mais cet objectif n'est pas encore pleinement accompli. Il importe peu que le Quaternaire soit abordé dans les écoles dans le cadre de cours en sciences de la Terre, en géographie physique ou en environnement mais il est essentiel que les élèves acquièrent des notions sur l'origine, l'évolution et les caractéristiques du milieu naturel dans lequel ils vivent. Un éminent spécialiste canadien du Quaternaire que l'on interrogeait récemment sur l'évolution de sa carrière en attribuait en grande partie le mérite à l'enseignement captivant

d'un de ses professeurs à l'école secondaire. Il serait difficile d'en dire autant aujourd'hui au sujet de l'enseignement du Quaternaire dans de nombreuses régions canadiennes.

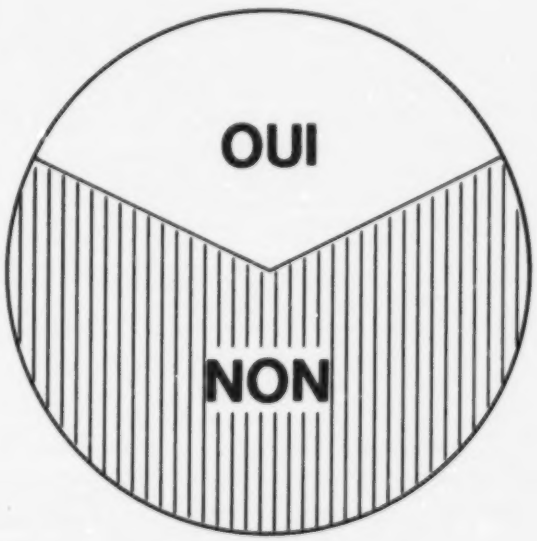
Nous espérions que la situation dans les universités serait meilleure, mais notre analyse des cours offerts au premier cycle et du nombre d'admissions indique que les cours propres à la géologie du Quaternaire (notamment la géologie du Pléistocène, la géomorphologie, etc.) ou les rares cours multidisciplinaires reliés au Quaternaire ne suscitent pas d'adhésions massives et sont rarement conçus pour stimuler l'intérêt des étudiants les plus doués à faires des études supérieures dans cette discipline.

8.2 Études en géologie du Quaternaire dans les universités canadiennes

L'expansion du Quaternaire au Canada dépend, dans une large mesure, de sa revalorisation dans les universités. Il n'existe pas de département universitaire ou d'institut d'études quaternaires, sauf un institut récemment établi à l'Université Simon Fraser. Afin d'étendre ou même de maintenir leur statut actuel, les sous- domaines du Quaternaire sont en compétition directe avec d'autres domaines pour l'obtention de subventions toujours plus rares. Il s'agit non seulement d'obtenir un financement additionnel en période de restrictions budgétaires mais aussi d'attirer des scientifiques de haute renommée vers ce domaine. Il est déplorable de constater que le CRSNG n'a accordé aucune bourse aux chercheurs universitaires en Quaternaire.

Les départements de science de la Terre d'un grand nombre d'universités ne considèrent pas le Quaternaire comme un domaine de recherche universitaire distinct. Les réponses négatives à cette question (nº 54a) sont deux fois plus nombreuses que les réponses positives (fig. 8.1) et ce, malgré le fait qu'une majorité écrasante de la communauté scientifique en Quaternaire croit en l'existence, dans cette discipline, d'un thème dominant ou d'une méthodologie et estime que la qualité de la recherche qu'on y effectue est comparable à celle des autres disciplines (nº 54b). En milieu universitaire, la qualité, la pertinence et l'exclusivité du Quaternaire ne sont pas toujours appréciées à leur juste valeur par les collègues et les administrateurs. Leur sensibilisation pourrait être plus difficile à accomplir que celle des étudiants.

Des causes complexes sont à l'origine de la faiblesse de la formation offerte en Quaternaire par les universités canadiennes et de son manque d'uniformité géographique. Une des principales raisons est le cloisonnement de l'enseignement dans les départements universitaires traditionnels qui protègent leurs acquis en défendant les limites de leur discipline. En Quaternaire, cette situation s'observe surtout dans la délimination entre la géologie et la géographie. La géologie est une discipline ancienne et bien établie dans de nombreuses universités même si on répète souvent que la géologie du Quaternaire est traitée en parente pauvre dans bien des universités et est la première à subir des coupures si les programmes doivent être comprimés ou si le nombre de postes doit être réduit. Au niveau universitaire, la géographie est encore une nouvelle venue, puisque peu de départements ont été établis avant 1950. Les relations entre les deux disciplines sont obscurcies davantage par l'exemple des universités américaines où, même si la géographie physique est la branche de la géographie qui recrute le plus d'admissions au niveau du premier cycle, elle ne participe pas de façon appréciable (sauf dans de rares exceptions) à l'avancement des études en Quaternaire. La situation est toute autre en Grande



Les recherches en Quaternaire sont-elles bien définies académiquement ?

(question 54)

Figure 8.1. *Le milieu universitaire ne considère pas enen général le Quaternaire comme un domaine de recherche distinct.*

Bretagne, en Scandinavie, en URSS et en Australie où la géographie physique comble une partie importante des besoins de la géologie du Quaternaire à l'échelle nationale, sinon tous dans certains cas, notamment en géomorphologie.

Un répondant résume ainsi la situation:

"les barrières entre les départements sont le plus gros obstacle à l'expansion de tous les programmes (quaternaires)".

8.2.1 Formation au niveau du premier cycle

Les réponses à la question 56 confirment que la qualité de la formation au premier cycle varie fortement d'une université à l'autre. Une faible proportion des réponses constituait une évaluation nette pouvant être divisée en trois catégories égales: bonne, satisfaisante et faible. Les réponses individuelles dépendaient du type d'étudiant considéré. Quatre groupes principaux ont été identifiés.

1. Étudiants suivant des cours généraux en Arts ou en Sciences qui choisissent, ou auxquels on conseille de choisir, un cours sur les changements environnementaux depuis l'arrivée de l'homme sur la Terre.
2. Étudiants inscrits à un baccalauréat spécialisé (ingénierie par exemple) ou à un programme débouchant sur une activité professionnelle (l'aménagement par exemple) qui tirent profit d'une synthèse de l'histoire quaternaire dans une optique multidisciplinaire.
3. Étudiants inscrits à des programmes spécialisés et qui poursuivront des études supérieures dans le même domaine ou éventuellement en Quaternaire (par exemple, biologie (écologie), géologie, environnement, géographie physique, archéologie). Ils devraient pouvoir suivre un cours de synthèse sur le Quaternaire et au moins un cours plus spécialisé.
4. Étudiants inscrits à un baccalauréat spécialisé en Quaternaire. Tandis qu'un certain nombre de répondants sont en faveur de l'établissement, dans leur université, de ce type de programme; de nombreux répondants croient qu'on devrait encourager les étudiants à se spécialiser d'abord dans une discipline traditionnelle. Toutefois, dans certaines universités, les mineures offerts au niveau du premier cycle permettent de détecter assez tôt un intérêt en Quaternaire.

L'établissement de cours au premier cycle et une écoute attentive de la part de conseillers, qui ne sont pas nécessairement tenus d'être des quaternaristes, représente sans contredit une tâche considérable. Notre analyse des programmes universitaires de premier cycle et des cours en Quaternaire n'a pas permis de repérer une université offrant le programme complet décrit ci-haut. Son implantation représenterait de sérieux problèmes. Trop peu d'enseignants possèdent les qualifications et la motivation nécessaires et ceux qui sont spécialisés en Quaternaire doivent souvent donner des cours dans d'autres domaines. Enfin, l'établissement de cours multidisciplinaires constitue la principale difficulté.

L'analyse des cours et des programmes universitaires révèle, dans certains cas, une abondance de cours offerts dans les domaines spécialisés du Quaternaire mais aussi une absence quasi totale de cours multidisciplinaires qui abordent les relations complexes entre les environnements quaternaires, le domaine biologique et les premiers humains. Notons que les trois principaux centres d'excellence en Quaternaire identifiés par les répondants (Universités du Colorado, de Washington et Cambridge) offrent des cours multidisciplinaires en Quaternaire.

Des cours en géographie du Quaternaire sont offerts dans de nombreuses universités mais là encore, la spécialisation des facultés n'est pas toujours adéquate et les livres appropriés ne sont pas toujours disponibles.

"On insiste sur la géomorphologie aux dépens d'autres secteurs de la géographie quaternaire tels que la paléoclimatologie et la biogéographie." (Plusieurs répondants)

"Nous avons besoin de livres canadiens de bonne qualité"

En dépit des nombreuses difficultés, des cours de premier cycle bien structurés entraîneraient, dans une décennie environ, une sensibilisation plus large de la société à la pertinence du Quaternaire et un accroissement du nombre d'étudiants compétents vers les études supérieures.

8.2.2 Formation au niveau des études supérieures

Les quaternaristes des universités canadiennes croient que la qualité de la formation aux 2e et 3e cycles est supérieure à celle du premier cycle (fig. 8.2). Sept universités ont fait l'objet d'une mention spéciale quant à la qualité de leur formation, bien que d'autres réponses indiquent que dans la plupart des cas,

l'excellence au niveau universitaire est limitée à un seul département.

De nombreux répondants, y compris ceux pour qui le degré d'excellence de leur université apparaissait élevé, ont identifié des faiblesses et ont formulé des suggestion pour y remédier. Un des principaux points faibles est le nombre généralement faible de quaternaristes en milieu universitaire et l'impossibilité pour ceux-ci de couvrir les nombreux domaines reliés au Quaternaire. Il n'est pas rare de constater qu'un département fort ne bénéfécie pas de l'appui des autres.

> "La qualité des études supérieures varie inévitablement au pays. Un accroissement du degré d'excellence exigerait l'embauche d'un plus grand nombre de jeunes quaternaristes enthousiastes et motivés, ce qui est difficile à réaliser dans le climat économique actuel."

> "Le progrès est lié à l'accroissement du nombre de postes disponibles dans les universités. On doit offrir aux finissants compétents et motivés des emplois universitaires dans le but d'accroître notre potentiel et la qualité de notre enseignement."

> "Dans de nombreuses universités, les sous-domaines du Quaternaire ne sont pas tous représentés, certains départements offrant plus de cours que d'autres."

> "Bien des universités ne saisissent pas les multiples facettes du Quaternaire."

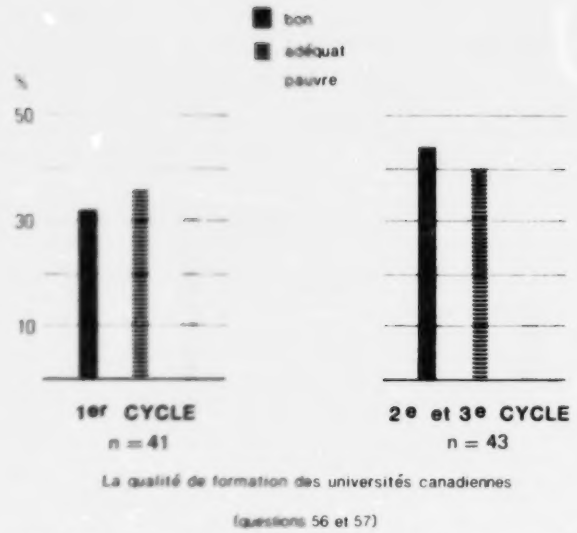
Les répondants ont aussi critiqué le contenu des cours supérieurs. Les commentaires les plus fréquents se rapportaient à l'insistance insuffisante sur les aspects théoriques du Quaternaire et au manque de rigueur.

> "D'après ce que j'observe ici, la formation est bonne mais pourrait insister davantage sur les aspects théoriques."

> "En général, les étudiants n'approfondissent pas suffisamment la matière. Leur formation en cartographie est bonne mais leur connaissance de la théorie, des processus et de la méthodologie est insuffisante."

> "La formation mathématique et statistique présente de sérieuses lacunes."

Certaines réponses, axées sur les futurs emplois offerts aux étudiants, ont souligné le besoin d'une formation dans les domaines appliqués. Ces réponses ne se rapportaient pas toutefois aux domaines propres



La qualité de formation des universités canadiennes

(questions 56 et 57)

Figure 8.2. *On considère que la qualité des études supérieures surpasse nettement celle du premier cycle.*

à la géologie du Quaternaire mais plutôt aux disciplines connexes.

> "Nous devrions insister sur la formation dans les domaines appliqués tels que la géotechnique, la géophysique, etc."

> "Certains étudiants qui obtiennent une maîtrise en gestion des ressources dans cette institution n'ont jamais entendu parler du Quaternaire."

Une façon d'évaluer l'importance qu'une université accorde à la formation supérieure en Quaternaire consiste à examiner le nombre de diplômes accordés au cours des dernières années. Nous avons demandé aux universités de donner les titres des thèses déposées de 1979 à 1984 inclusivement (tableau 8.1, annexe 3).

Au total, 118 diplômes d'études supérieures (32 doctorats et 104 maîtrises) portant sur des domaines directement reliés à la géologie du Quaternaire, y compris la paléobiologie, ont été accordés par les universités canadiennes au cours de la période de cinq ans allant de 1979-80 à 1983-84. Une enquête incomplète effectuée dans les écoles supérieures américaines révèle que 10 doctorats ont été accordés pour des projets quaternaires canadiens; huit d'entre eux (quantité que ne peut absorber aucun département canadien) ont été obtenus à l'Institute of Arctic and Alpine Research (INSTAAR, Université du Colorado).

Il ne fait aucun doute que quelques universités seulement ont réussi à surmonter les difficultés au

niveau de l'infrastructure et à offrir des programmes et des diplômes véritablement multidisciplinaires. Bien que les principaux motifs justifiant l'établissement de centres (instituts) de recherches en Quaternaire soient le recrutement de chercheurs de spécialités diverses et l'aménagement de laboratoires, un progrès important serait réalisé sur le plan de l'enseignement si ces centres bénéficiaient du statut indépendant accordé aux départements.

8.3 Centres d'excellence en Quaternaire

Le rapport de la commission Blais a traité de façon détaillée les protocoles d'établissement de centres de recherches spéciaux (centres d'excellence) et a retenu le Quaternaire au nombre des sept domaines des sciences de la Terre pour lesquels une démarche de ce genre serait souhaitable. Le présent comité a effectué des recherches afin de déterminer si, depuis les quinze ans écoulés depuis la parution du rapport Blais, des centres d'excellence en Quaternaire avaient vu le jour et sinon, si le besoin existait toujours et la façon d'y répondre.

La question 39 demandait aux répondants d'identifier des centres d'excellence internationaux. La plupart des répondants ont nommé des centres offrant une large gamme de sous-domaines quaternaires plutôt que des études spécialisées dans des domaines restreints. Deux groupes universitaires, l'INSTAAR de l'Université du Colorado et le Quaternary Research Center de l'Université de Washington à Seattle, sont considérés comme les plus prestigieux en Amérique du Nord. Les Universités de Cambridge et de Stockholm jouissait du même prestige en Europe mais dans une moindre mesure. Aucun centre d'excellence canadien n'a été nommé par plus d'un répondant à l'exception de la Division de la science des terrains de la Commission géologique du Canada (5%). Il apparaît donc clairement qu'une importante majorité des répondants croit qu'aucun groupe important, interactif et multidisciplinaire, réunissant des quaternaristes au sein d'un organisme établi, n'existe actuellement au Canada.

Il est possible que l'ampleur de la participation de la Commission géologique du Canada dans le domaine de la géologie du Quaternaire ne soit pas appréciée à sa juste valeur par les quaternaristes canadiens. Le fait que la Commission n'ait pas été identifiée plus massivement par les répondants s'explique probablement parce que l'on croit, par définition, que les centres d'excellence sont vouées à la formation des futures scientifiques et que c'est cette interaction entre la recherche et l'enseignement, et entre les enseignants et les étudiants, qui est désirable.

Un des thèmes persistants de ce rapport est que, quelle que soit l'aire d'intérêt; domaine restreint de la géologie du Quaternaire ou étude plus générale des environnements quaternaires; la recherche spécialisée en Quaternaire ne sera fructueuse que si elle a accès aux données et partage l'enthousiasme des chercheurs de domaines connexes en sciences de la Terre, en biologie et en préhistoire. Enfin, ce qui s'applique à la recherche, s'applique également à la formation des quaternaristes. Il serait intéressant de savoir comment répondre à ces attentes.

La question 35 demandait aux répondants si l'établissement, au niveau national, d'un seul centre de recherches indépendent constituerait un moyen d'améliorer le statut de la recherche en Quaternaire. La forte proportion de réponses négatives (10% seulement des 162 réponses étaient en faveur de la création d'un centre national) démontre clairement l'impopularité de cette proposition. La question toutefois ne tenait pas compte de la possibilité d'expansion d'une unité existante en un centre national de recherches sur le Quaternaire comportant un nombre adéquat de chercheurs de différentes spécialités, de laboratoires, de ressources documentaires et de services. Il se peut qu'à longue échéance, un centre de ce genre soit créé, soit dans le cadre de la Commission géologique du Canada ou en association avec celle-ci. Cependant, le rôle principal de la Commission n'est pas la formation.

Compte tenu de l'immensité du Canada, la création de centres d'excellence régionaux est plus attirante à première vue. Une minorité de répondants s'est prononcée en faveur de cette solution (42%). Les centres régionaux de Quaternaire, probablement affiliés aux universités mais pouvant aussi l'être à des conseils de recherches provinciaux, ont trouvé leur appui le plus fort sur les côtes Est et Ouest et auprès des scientifiques du gouvernement.

Le succès des quelques centres d'excellence internationaux reconnus a favorisé leur expansion dans d'autres parties du monde, notamment, il y a fort peu de temps, en Amérique du Nord, à l'Université de l'Alaska, à Fairbanks (1984). Le succès d'un ou de plusieurs centres canadiens serait favorisé par la présence d'un certain nombre de quaternaristes dans un même institut, ou à proximité, d'un superviseur scientifique (à la fois agent de financement?) compétent et la création d'un environnement propice à la recherche. L'Université de Waterloo a fait les

premiers pas dans cette direction grâce à la création en 1986 de son << Quaternary Science Institute >>.

Le comité croit en la promotion de centres d'excellence en Quaternaire dans certaines parties du Canada. Cependant, le financement de nouvelles initiatives en matière de recherche et d'éducation supérieure est difficilement accessible et, bien que désirable, l'aménagement d'un centre dans une université canadienne semble improbable d'ici une dizaine d'années. Le comité recommande une solution de rechange, qui tiendrait compte du nombre de quaternaristes de différentes spécialités présents dans certaines régions du pays mais dispersés dans diverses institutions, et consisterait à promouvoir fortement la création d'un ou de plusieurs centres d'excellence multi-institutionnels réunissant les scientifiques universitaires (et au besoin, les ministères) se trouvant dans la même région. Dans certaines régions, le nombre de quaternaristes est suffisant pour que ce projet soit réalisable (Halifax-Dartmouth, Montréal, Ottawa, sud-ouest de l'Ontario et éventuellement Edmonton et Vancouver). Les contacts officieux sont déjà établis dans ces régions mais des tentatives devraient être amorcées pour la création de groupes plus officiels, à l'image de ce qu'effectue actuellement le "Quaternary Institute" à l'Université Simon Fraser. Nous ne sous-estimons pas les difficultés d'une pareille entreprise mais croyons qu'elles peuvent être aplanies.

9. Orientations de la recherche en Quaternaire au Canada

La recherche en Quaternaire revêt plusieurs formes et poursuit divers objectifs. Elle vise essentiellement à parfaire nos connaissances en ce qui a trait à l'histoire de la Terre durant le Quaternaire. L'identification de sujets d'étude ne présente aucune difficulté; le problème consiste surtout à choisir et à exploiter des sujets de pointe et à délaisser d'autres sujets tout aussi fascinants mais moins percutants. De nombreux sujets de recherche canadiens, d'intérêt national immédiat, peuvent aussi s'inscrire dans le cadre de questions globales. Les renseignements disponibles sur les variations du niveau marin, la déformation des lignes de rivage de lacs glaciaires, la néotectonique et la formation périodique de failles ont non seulement une portée nationale mais contribuent aussi à l'élaboration de nouveaux modèles de rhéologie terrestre et de prévision des séismes à l'échelle mondiale. L'abondance de données récentes sur les changements climatiques du Canada au Quaternaire doit faire partie de modèles globaux et être accessible aux travaux de modélisation préventive.

Le questionnaire a révélé que les géologues canadiens s'entendent généralement sur les questions d'actualité en recherche quaternaire mais se contredisent sur la façon de les résoudre *efficacement*. Les questions 32, 33 et 37 portaient sur les orientations présentes et futures de la recherche. Les réponses ont pu être divisées en trois groupes principaux.

9.1 Environnements holocènes

Le premier problème, et de loin le plus important, est l'interaction entre la terre, la glace, la mer et l'atmosphère durant l'Holocène. Les études portant sur cet intervalle géologique très récent portent sur les processus et les variations agissant sur les sous-ensembles, la réponse globale de l'ensemble et le temps nécessaire au ré-équilibre. Les problèmes sont innombrables et les principaux objectifs délimités par les répondants sont: l'amélioration de la précision et de l'utilité pour les différentes disciplines des données climatiques obtenues par approximation, l'application d'un plus grand nombre de techniques de datation, comme un usage plus répandu de la dendrochronologie, l'estimation du rôle des populations autochtones et "européennes" dans l'ensemble et l'estimation de la fréquence et du rôle des accidents naturels.

Les objectifs de la recherche en Holocène comprennent la reconstitution du milieu naturel à divers intervalles et différentes échelles géographiques et la détermination des changements environnementaux des 10 000 dernières années. Des tentatives de reconstitutions environnementales sont en cours dans de nombreuses régions du pays mais les résultats publiés sont bien inférieurs à ceux de l'Europe, de l'URSS et, plus récemment, des États-Unis. En fait, les quaternaristes considèrent qu'au Canada, ce domaine de recherche s'est développé lentement. Nous déplorons aussi le fait que le cloisonnement des disciplines y soit déjà observé.

Une indication de l'importance relative des quelques disciplines quaternaires canadiennes dans la reconstitution des environnements de l'Holocène et du Wisconsin tardif peut être tirée de l'analyse des articles sur ces sujets présentés au symposium de l'Association canadienne pour l'étude du Quaternaire, tenu en août 1985, à Lethbridge, en Alberta. Sur les 54 articles au programme, la moitié (28) portaient sur la stratigraphie et la géomorphologie mais seulement huit d'entre eux étudiaient les environnements non

glaciaires. Les articles sur la paléobiologie (15) et sur la paléoclimatologie et l'hydrologie (11) s'intéressaient surtout aux environnements holocènes non glaciaires. Les chercheurs dans le domaine de la stratigraphie et de la géomorphologie du Quaternaire peuvent grandement contribuer à la reconstitution des environnements holocènes non glaciaires mais ce domaine est sous-exploité au Canada.

Il y a une dizaine d'années, on considérait que les environnements holocènes avaient une valeur principalement théorique mais les événements des dernières années ont démontré la vulnérabilité du milieu naturel aux interventions humaines. L'application des résultats de ce domaine à l'aménagement du territoite actuel et futur devrait être d'intérêt national.

9.2 Inlandsis pléistocène

Le deuxième groupe de sujets d'intérêt se rapporte à la dynamique des inlandsis et, dans une perspective canadienne, aux diverses masses de glace wisconsiniennes de propriétés dynamiques différentes qui ont recouvert les parties centrales et orientales du pays (Laurentides et Maritimes), les îles de la Reine-Charlotte et la Cordillère. Des progrès considérables ont été réalisés au sujet de la calotte glaciaire laurentidienne mais l'étude des autres calottes glaciaires en est encore à ses débuts. De nombreux répondants ont soulevé les problèmes reliés à la datation du début de la glaciation, aux caractéristiques géophysiques de la glace durant les phases de retrait, aux propriétés de la glace à proximité du périmètre du glacier lors de son avancée terrestre et marine maximale, à la présence et au rôle des plates-formes de glace flottantes d'origine continentale, aux caractéristiques thermiques des glaciers et au climat des différentes phases. La solution de ces problèmes dépend d'une comparaison étroite entre les modèles glaciologiques théoriques et les observations de terrain. Il est malheureux, comme nous l'avons mentionné plus haut (section 5), que plusieurs spécialités pertinentes, en particulier la glaciologie, ne soient pas exploitées au Canada.

9.3 Sédimentologie

Un troisième groupe de sujets de recherche est lié à la sédimentation en environnement glaciaire, sédimentation résultant de la présence de glaciers et sédimentation dans les milieux périglaciaires terrestres et marins adjacents. Une connaissance plus approfondie des processus en cause entraînera une interprétation plus éclairée des sédiments et des formes de relief associées. Elle entraînera aussi une meilleure compréhension des propriétés des sédiments ainsi que des changements ultérieurs, particulièrement sur le fond océanique et dans les régions soumises au pergélisol, lors des stades ultimes.

9.4 Intervalles pléistocènes non glaciaires

En plus des trois principaux domaines de recherche, les répondants en ont mentionné d'autres qui demanderaient une étude plus poussée. La plupart des recherches canadiennes sur le Pléistocène ont porté sur les épisodes glaciaires. Dorénavant, de nouvelles études devraient viser à améliorer notre connaissance des phases non glaciaires, et nous apprendre leur nombre de toute urgence. Le dernier interglaciaire, les interstadiaires Sangamon et Wisconsinien devraient faire l'objet d'une attention spéciale, particulièrement en ce qui a trait à la chronologie, la durée, le climat, les processus et l'identification d'équivalents actuels.

9.5 Sujets de recherche globaux

On a mentionné un grand nombre de sujets quaternaires globaux auxquels les scientifiques canadiens pourraient contribuer dans une plus grande mesure. Le problème contemporain le plus important est probablement la corrélation des données pléistocènes terrestres et de haute mer. De plus, tous les sous-domaines devraient innover dans le domaine de la datation rariométrique du Quaternaire mais particulièrement de l'intervalle variant de 150 000 à 50 000 ans avant notre ère qui précède immédiatement l'intervalle optimum de datation au carbone radioactif. La participation canadienne au Programme international de sondage des fonds marins (PSFM) assure maintenant un apport continu de données sur les sédiments océaniques du Pliocène et du Pléistocène dans les régions de la mer du Labrador, de la baie de Baffin et de la mer de Norvège. Le traitement paléoécologique de ces données s'effectue actuellement à l'Université Memorial de Terre-Neuve, à l'Université de Montréal, à l'Université du Québec à Montréal et au Centre géoscientifique de l'Atlantique. Le résultat de ces études permettra la corrélation quantitative des données terrestres et marines de l'Amérique du Nord et de l'Europe pour tout le Quaternaire.

10. Financement de la recherche

10.1 Subventions de recherche gouvernementales

Le financement des quaternaristes canadiens provient d'un large éventail de sources parmi lesquelles un petit nombre domine. Des subventions fédérales sont attribuées directement aux organismes affiliés au ministère de l'Énergie, Mines et Ressources, principalement à la Commission géologique du Canada, au Ministère de l'Environnement et aux Musées Nationaux. Les subventions fédérales sont accordées dans le domaine de la recherche universitaire par le biais de bourses du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), du ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada, du ministère de l'Énergie, Mines et Ressources et d'Environnement Canada. Les subventions provinciales sont la source principale de financement des activités universitaires générales, et par conséquent, elles appuient indirectement les chercheurs et les laboratoires. Le financement provincial peut aussi provenir, dans certaines régions du pays, d'organismes provinciaux sous forme de bourses (notamment le FCAR au Québec et l'"Ontario Geological Research Fund") ou d'accords de recherche.

10.2 Appui universitaire

La principale source de financement de la recherche en Quaternaire, à l'échelle universitaire, provient d'un fonds destiné aux sciences de la Terre dans leur ensemble. Par conséquent, les quaternaristes sont en quelque sorte en compétition avec d'autres spécialistes des sciences de la Terre. Une écrasante majorité provient du CRSNG. Dans les universités de l'Ontario, la part du CRSNG de l'ensemble de l'appui à la recherche en Quaternaire s'est accrue de 73% en 1981 à 89% en 1983. Il est évident qu'en période de restrictions budgétaires sévères, le secteur universitaire peut en arriver à dépendre presqu'entièrement du financement du CRSNG.

Au cours des cinq dernières années (1980-84), 15 à 20% des bourses du CRSNG dans le domaine des sciences de la Terre ont été accordées à des sujets reliés à la géologie du Quaternaire (tableau 10.1). Les deux tiers environ des boursiers provenaient de départements de géographie et le tiers, de départements de sciences de la Terre. Pendant cette période, peu de bourses importantes ont été attribuées à des quaternaristes et le montant moyen des bourses (18 200$ en 1984-85) était inférieur de 15% à l'ensemble des sciences de la Terre et malgré cela, le montant moyen peut excéder le montant réel à cause d'un petit nombre de subventions importantes. Il est à noter que les importants programmes multidisciplinaires qui nous semblent être une forme adaptée à la recherche en Quaternaire peuvent ne pas ressortir sur les listes de subventions à cause de l'amalgame des subventions individuelles destinées à l'ensemble du projet.

10.3 Pertinence du financement

Le comité a vérifié ce que les scientifiques pensaient de la pertinence du financement par le biais de la question 21. Les réponses varient en fonction du type de recherche et de l'employeur. Les répondants du milieu industriel trouvent que le financement des projets particuliers et très restreints est adéquat. Les scientifiques du gouvernement trouvent généralement le financement adéquat, à la suite toutefois de décisions politiques spécifiant les projets de recherche à intensifier. Le choix des projets dépendant d'une connaissance préalable des fonds disponibles, une réponse favorable à cette question ne remet pas en cause le classement préétabli et ne renseigne pas sur la pertinence des projets choisis.

De nombreux projets de recherche universitaires, bien que poursuivant des objectifs définis, comportent aussi une certaine flexibilité. Nous avons donc reçu une réponse équivoque de la par des scientifiques universitaires sur la pertinence du financement (de 42% de réponses affirmatives en Ontario à 64% en Colombie- Britannique).

La question 35 a apporté un éclairage différent sur la perception du financement en demandant la façon dont la recherche en Quaternaire pouvait être améliorée. Une majorité des répondants en milieu universitaire (64%) croient qu'un accroissement du financement améliorerait la qualité de la recherche

Tableau 10.1 Bourses du CRSNG dans le domaine des sciences de la Terre[1]

	1983-84		1984-85	
	Nb	Montant	Nb	Montant
Total des bourses (Sc. Terre)	495	9 782 941 $	481	10 546 416 $
Total des bourses (Quaternaire)	89	1 424 250 $	90	1 640 831 $

[1] N'inclut pas les projets en géotechnique sauf s'ils sont directement liés au Quaternaire.

mais une proportion plus forte encore croit qu'une amélioration plus marquée encore proviendrait de nouveaux programmes multidisciplinaires.

Une impression, généralisée à l'échelle du pays, se dégage du questionnaire qui a été rempli lors d'une période où le financement universitaire est extrêmement limité. On croit que des sources de financement plus nombreuses entraîneraient nécessairement plus de projets en Quaternaire et d'une qualité supérieure. Il est probable que certaines personnes font leur demande de bourse en fonction du financement disponible. Toutefois, nous constations qu'en général les procédures entourant l'attribution et le nombre de bourses du CRSNG sont jugées très satisfaisantes.

Les archéologues de l'environnement constituent le seul groupe de scientifiques en Quaternaire qui ne reçoit qu'occasionnellement des bourses du CRSNG. Ils font habituellement des demandes de bourses au Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH).

De plus, les importants programmes de recherche multidisciplinaires en Quaternaire, en particulier dans les environnements nordiques et marins, exigent un financement dont l'envergure est de 100 à 1000 fois supérieure à la plupart des subventions accordées par le CRSNG sur une base individuelle et ceci entraîne des problèmes particuliers.

10.4 Financement des projets multidisciplinaires en régions éloignées

La nature multidisciplinaire des travaux quaternaires encourage la formation de programmes de terrain composés de plusieurs scientifiques de spécialités différentes qui se penchent sur le même problème. Ceci s'applique particulièrement aux travaux présentant d'importants problèmes logistiques, ce qui au Canada est généralement le cas des régions nordiques où des économies de transport peuvent être réalisées si plusieurs scientifiques travaillent ensemble. Le CRSNG tient compte du coût élevé des travaux de terrain en région nordique en attribuant un financement additionnel aux scientifiques s'y consacrant. Malgré cela, la plupart des quaternaristes universitaires engagés dans la recherche nordique (et tous ceux qui travaillent dans les îles de la Reine-Charlotte) dépendent dans une large mesure de l'appui qu'ils reçoivent d'organismes fédéraux, notamment l'Étude du plateau continental polaire (EPCP) et la Commission géologique du Canada. Les coupures effectuées en 1986 dans le budget de l'EPCP alloué au financement exigent maintenant que les universités défraient les coûts du transport vers l'Arctique. Ceci entraînera considérablement l'augmentation du nombre de demandes de bourses au CRSNG.

Le petit nombre de projets de recherche universitaires en Quaternaire effectués dans le Nord soulève la question de l'influence restrictive du coût élevé de ces études et des limites de financement associées. Des scientifiques universitaires travaillant de façon individuelle sur les îles Ellesmere, Devon et Baffin et à d'autres endroits illustrent la viabilité de ce type d'opération. Des projets universitaires à grande échelle et fructueux indiquent que l'on peut obtenir des subventions et divers types d'appui mais que le nombre limité de scientifiques possédant les compétences, la motivation et l'ambition pour organiser des projets de grande envergure représente un problème encore plus grand. Citons entre autres le projet de l'Université McGill sur l'île de Axel Heiberg, dans les années 60, celui de l'Université du Colorado sur l'île de Baffin, celui de l'Université de l'Alberta sur l'île d'Ellesmere dans les années 70 et 80 et celui de l'Université de Montréal et l'Université Memorial dans le nord du Labrador, dans les années 80.

Un problème semblable entrave l'expansion de la recherche quaternaire marine. Bien que les détails du problème soient différents de ceux de la recherche terrestre effectuée dans le nord, le scientifique universitaire devra affronter des problèmes encore plus marqués sur le plan des embarcations maritimes, du personnel et de l'équipement lourd susceptibles d'être disponibles dans les organismes nationaux ou provinciaux. Les possibilités qui s'offrent au chercheur universitaire est de joindre un groupe plus important ou de réserver l'embarcation pendant une période préétablie. Ni l'une ni l'autre de ces possibilités ne sont idéales. La possibilité consistant à utiliser des ressources universitaires regroupées (par exemple, la "Bamfield Marine Station" sur l'île de Vancouver pour les études biologiques) s'est avérée difficile à coordonner.

11 Installations et services spécialisés

Bien que le travail de terrain constitue une part importante des activités de la majorité des quaternaristes, ces derniers passent une partie tout aussi importante de leur horaire professionnel dans des bureaux, des laboratoires et des bibliothèques. Le questionnaire n'a pas révélé d'obstacles majeurs à la recherche ou à l'enseignement imposés par des

Tableau 10.2 Bourses du CRSNG dans les sous-domaines du Quaternaire

	1982-83 Nº de bourses	1983-84 Nº de bourses	1984-85 Nº de bourses	Montant moyen
Climatologie historique	10	7	8	17 631
Paléoclimatologie	2	2	1	4 000
Paléobiologie	10	7	7	22 245
Processus géomorphologiques	35	35	38	16 161
Stratigraphie quaternaire	18	21	21	15 832
Géochronologie quaternaire (isotopes, paléomagnétisme, téphrochronologie)	8	6	7	34 312
Études de terrain, télédétection	1	4	4	17 335
Glaciologie	1	2	1	44 520
Ingénierie	-	3	3	13 156

conditions défavorables sur le plan des locaux et des bibliothèques. Toutefois, puisque le Quaternaire réunit des disciplines très diverses, les installations s'y rattachant sont souvent dispersées sur le campus universitaire. La tendance actuelle consistant à regrouper les nouvelles constructions universitaires autour d'un certain nombre de disciplines (les sciences de la Terre par exemple) pourrait entraîner une plus grande concentration des disciplines quaternaires sur le campus. Jusqu'à maintenant cependant, les disciplines quaternaires ont plutôt été considérées comme des matières auxiliaires et ont rarement fait l'objet de plans semblables. La création de centres distincts d'études sur le Quaternaire ne pourra qu'entraîner la disparition de ce problème.

11.1 Ressources bibliothécaires

Sur le lan des ressources bibliothécaires, le Quaternaire doit affronter des problèmes semblables à ceux de tous les domaines multidisciplinaires. Au Canada, la documentation quaternaire n'est pas réunie en collections importantes, on la trouve donc dans les collections de sciences de la Terre qui présentent des lacunes dans les domaines biologique et archéologique ou dans des collections générales dont les différents sous-domaines peuvent être dispersés sur plusieurs étages et souvent, dans plusieurs édifices.

À l'exception des biblioghèques de la Commission géologique du Canada, nous n'avons pu identifier de bibliothèque canadienne contenant de la documentation approfondie en Quaternaire. Les difficultés inhérentes à l'élaboration d'une ou de plusieurs collections d'ici quelques années sont immenses et il est fort improbable que de nouvelles collections soient montées avant l'établissement de collections spécialisées.

Il existe un certain nombre de bibliothèques privées, spécialisées dans des sous-domaines

Tableau 11.1 Méthodes de datation du Quaternaire

1.	Radiométrie	Carbone radioactif, séries uranium-thorium, etc. Thermoluminescence (TL) Résonance paramagnétique des électrons
2.	Biologie	Dendrochronologie Lichénométrie Palynologie Biochronologie des microfossiles marins
3.	Corrélation stratigraphique	Paléomagnétisme Téphrochronologie
4.	Chimie	Racémisation des acides aminés Vitesse d'altération - pédogenèse - hydration de l'obsidienne
5.	Addition	chronologie des varves

restreints du Quaternaire, qui possèdent un grand nombre de tirés à part. Si les propriétaires qui en assurent la gestion n'acheminent pas ce matériel vers des collections majeures lorsqu'ils en auront terminé, on assistera malheureusement à une perte d'information bien inutile.

En attendant, nous proposons une solution qui pourrait rendre certaines publications plus accessibles. Le principal éditeur de publications quaternaires au Canada est la Commission géologique du Canada. Un grand nombre de bibliothèques universitaires classent tous les documents produits par le gouvernement fédéral dans la même catégorie, ce qui a pour résultat de noyer le matériel quaternaire (ainsi que d'autres documents géologiques) émanant de la Commission géologique dans la masse des documents gouvernementaux. Dans des cas semblables, on aurait fortement avantage à disposer d'une deuxième série de publications de la CGC destinée à des collections locales (départementales ou multidépartementales).

11.2 Laboratoires

Au cours des trois dernières décennies, les quaternaristes ont résolu de nombreux problèmes à l'aide de techniques quantitatives. La plupart d'entre elles sont effectuées dans des laboratoires relativement coûteux. Le Canada en compte un certain nombre qui ne sont pas toujours accessibles aux quaternaristes. Plusieurs causes sont responsables de cette situation:

1) La plupart des géochimistes et des géophysiciens, qui gèrent en quelque sorte l'infrastructure des laboratoires, s'intéressent surtout aux études portant sur le socle;

2) Les chercheurs en géographie physique et en archéologie relèvent fréquemment des facultés de sciences humaines, où les budgets consacrés aux équipements sont minces et parfois inexistants;

3) On observe, dans le régime de financement du CRSNG, une corrélation directe entre les bourses d'opération et les bourses d'équipement. Par conséquent, les quaternaristes, qui reçoivent des bourses d'opération faibles peuvent difficilement obtenir des bourses d'équipement élevées.

Les laboratoires de télédétection peu sophistiqués constituent la seule exception à cette situation. Ceux-ci sont raisonnablement bien répartis et accessibles dans tout le Canada et se trouvent dans les organismes gouvernementaux et les universités. Dans le dernier cas, ils sont généralement sous la direction de spécialistes en géographie physique. Quel que soit son degré de perfectionnement, la recherche en télédétection connaît toutefois de sérieuses difficultés de laboratoire (section 11.3).

La géologie du Quaternaire repose de plus en plus sur des déterminations chronologiques absolues. La datation relative, basée sur la biostratigraphie, est d'une utilité limitée en raison de l'uniformité de la faune et de la flore durant cette période, particulièrement au Quaternaire supérieur. Quant aux corrélations lithologiques, elles connaissent des difficultés reliées aux discordances latérales et verticales qui caractérisent les dépôts continentaux de cette époque. La plupart des méthodes de datation sont reliées, directement ou indirectement, à la mesure d'isotopes radioactifs. L'équipement nécessaire à cette analyse peut varier des compteurs α ou β relativement peu coûteux aux spectromètres de masse, qui le sont beaucoup plus. Bien que certaines méthodes soient suffisamment bien connues de la plupart des quaternaristes (le ^{14}C par exemple), d'autres le sont beaucoup moins et leur utilisation entraîne des études collectives dans lesquelles les géochimistes ont un important rôle à jouer. Dans des cas semblables, la disponibilité de la main- d'oeuvre peut constituer un facteur limitatif.

11.2.1 Laboratoires de datation au carbone radioactif

Le carbone radioactif est toujours l'isotope le plus utilisé dans la datation du Pléistocène supérieur et de l'Holocène. Les laboratoires sont répartis de façon inégale dans le pays. L'Ontario et le Québec ont accès à un certain nombre d'unités de datation tandis que dans les Provinces maritimes et de l'Ouest, on ne trouve pas d'installations locales adéquates. Dans l'ensemble, les résultats de datations au carbone radioactif ne sont pas encore suffisamment nombreux au Canada, malgré la productivité des deux laboratoires les plus accessibles (C.G.C.-Ottawa: environ 4000 analyses depuis le début des années 60 et UQAM: environ 1300 analyses depuis 1980). Des laboratoires américains privés (notamment Beta, Analytic, Teledyne Isotopes, etc.) font régulièrement affaire avec les chercheurs canadiens.

11.2.2 Spectrométrie de masse

Le perfectionnement des accélérateurs (Tendetron, tandem Van de Graaf, etc.) pourrait changer la situation actuelle et aussi donner accès à de nouvelles méthodes de datation. L'accélérateur permet de mesurer la teneur en 14C d'échantillons de

Tableau 11.2 Laboratoires conventionnels de datation au carbone radioactif

Université Laval	Université de Waterloo
Université du Québec à Montréal (UQAM)	Saskatchewan Research Council/
Commission géologique du Canada	Musées nationaux du Canada
Université Brock	Alberta Environmental Centre

Laboratoires inopérants (1985)

Université Dalhousie	Université Simon Fraser

très faible dimension, jusqu'à 0,1 g de coquille. Cette possibilité est d'une importance considérable puisque la taille de l'échantillon a constitué jusqu'à maintenant un facteur limitatif dans de nombreux domaines de recherche (archéologie, études de sondages marins et lacustres, etc.). De plus, d'autres isotopes radioactifs possédant une demie-vie plus longue (^{10}Be, ^{36}Cl) sont maintenant mesurables et pourraient fournir des mesures d'âge absolu à l'échelle du Quaternaire tout entier

Le laboratoire IsoTrace à l'Université de Toronto a été établi à partir d'un accélérateur Tendetron dans le but de fournir des services à l'échelle nationale. Cette optique pourrait fort bien s'avérer excessivement optimiste puisque le laboratoire ne travaille pas uniquement sur le ^{14}C, que le nombre d'échantillons pouvant être traités annuellement est d'environ 340[1] et que le voltage maximum du Tendetron (environ 2,7t MeV[1]) pourrait fort bien être insuffisant pour mesurer certains autres isotopes (le ^{36}Cl par exemple).

Actuellement, il est possible que les chercheurs canadiens ne puissent compter que sur cette infrastructure bien qu'une série de mesures d'âges à l'aide d'un spectomètre de masse ait été effectuée à l'Université McMaster (en collaboration avec l'Université Simon Fraser). Il serait souhaitable à longue échéance d'envisager la conversion d'autres accélérateurs canadiens pour permettre l'évaluation des radionucléides terrestres d'origine cosmique. Plusieurs avantages pourraient en résulter:

1) Il existe au Canada plusieurs autres accélérateurs qui consomment peu d'énergie, notamment à l'Université de Montréal et à Chalk River.
2) Leur utilisation dans le domaine de la physique nucléaire diminue dangereusement.
3) La plupart d'entre eux bénéficient de bourses du CRSNG ou d'autres appuis publics.
4) Les programmes de recherche de type "Pixie" effectués sur ce type d'appareil ne justifient pas les dépenses encourues (des spectromètres de masse à plasma d'induction et d'autres nouveaux types de spectrographes de masse se prêtent mieux à ce genre de travail).
5) En raison de leur accélération supérieure (5 à 7 MeV), les appareils tandem Van de Graaf sont plus adaptés[2] que les Tendetron pour la mesure de la plupart des radionucléides. De plus, le coût de la conversion d'un accélérateur existant (d'environ 300 000 à 500 000 $) est beaucoup moins élevé que dans le cas d'un Tendetron (de 1,5 à 2 millions de $).

La disponibilité d'installations de ce genre pourra promouvoir la recherche sur la pertinence du ^{10}Be et du ^{36}Cl en radiochronologie.

11.2.3 Autres techniques de datation

Les isotopes Th/U sont utilisés de façon courante afin de fournir des âges absolus pour l'intervalle variant entre 250 000 et 50 000 ans. Bien que cette méthode soit plus complexe que celle utilisant le carbone radioactif, elle est toutefois assez largement répandue en raison de son application à divers types d'échantillons géologiques. Au pays, deux laboratoires sont en opération sur une base régulière (McMaster et UQAM) ce qui est insuffisant pour répondre aux besoins du grand nombre d'usagers potentiels.

Dans certains cas, la datation au K/Ar peut avoir des applications en Quaternaire. Certains laboratoires, répartis uniformément dans tout le Canada, se consacrent aux mesures K/Ar. Un de ceux-

1 Rapport annuel de 1984 du laboratoire IsoTrace
2 A strategy for adoption of accelerator mass spectrometry by the earth sciences, Doe et al., U.S. Geol. Surv., Open File Rept. 84-664.

ci se trouve à l'Université de la Colombie-Britannique et analyse des matériaux dont l'âge est inférieur à 100 000 ans.

Parmi les autres techniques de datation, on devrait accorder une attention spéciale à la thermoluminescence. Il n'existe malheureusement qu'un seul laboratoire au Canada (Simon Fraser) possédant les équipements et l'expertise nécessaires pour répondre à la demande et il n'opère pas actuellement sur une base commerciale. Les matériaux devant être datés à la thermoluminescence (T/L) peuvent être expédiés aux États-Unis (Alpha Analytic) et seront traités à l'Université de Cambridge.

La datation des traces de fission ne demande pas d'équipement très spécialisé (un microscope et l'accès à un réacteur). Par conséquent, de tels laboratoires peuvent être mis sur pied très facilement selon les besoins. Cette méthode a été utilisée à l'Université de Toronto pour la datation de couches de cendre volcanique.

Enfin, l'analyse des acides aminés peut fournir des indications relatives sur l'âge de certains fossiles et matériaux quaternaires. Dans ce cas également, les laboratoires sont en nombre insuffisant. L'Université de l'Alberta possède une unité très reconnue à Edmonton qui opère en partie sur une base commerciale et deux autres laboratoires sont actuellement en expansion (UQAM et Université Memorial). De nombreux échantillons de projets canadiens sont acheminés vers Boulder, au Colorado et à Washington.

11.2.4 Autres laboratoires

Puisque le Quaternaire est subdivisé d'après des facteurs climatostratigraphiques, les isotopes stables (^{18}O, ^{13}C, ^{15}N, ^{34}S) peuvent constituer d'importants outils analytiques. L'oxygène 18 a servi particulièrement à l'établissement d'une stratigraphie de référence dans le cas de forages dans la glace et en haute mer. Il est également fort utile dans l'étude des paléoenvironnements continentaux (spéléothèmes et dépôts lacustres). Certains laboratoires canadiens jouent un rôle important à l'échelle internationale dans ce domaine de recherche. On trouve ce type d'installations dans la plupart des universités du pays et dans certains organismes gouvernementaux (Alberta, Manitoba, de nombreuses universités ontariennes: McMaster, Waterloo, Toronto, Western, Ottawa, l'UQAM au Québec et les Universités Dalhousie et Memorial dans les Maritimes). La plupart d'entre elles sont relativement bien équipées et il serait souhaitable qu'elles demeurent concurrentielles malgré le perfectionnement du matériel.

Il existe également une demande en matière de laboratoires de micropaléontologie moins coûteux particulièrement axés sur le Quaternaire. Les palynologues jouissent d'une bonne réputation au pays, mais d'autres micropaléontologues sont beaucoup moins nombreux. Un groupe de spécialistes sur les foraminifères quaternaires se strouve dans les Maritimes (Centre géoscientifique de l'Atlantique, Dalhousie, Memorial) mais cette spécialité pourrait absorber plus de spécialistes. D'autres spécialistes (des coléoptères, des diatomées, des dinoflagellés et des ostracodes) sont si peu nombreux que le Canada ne peut entreprendre aucune étude détaillée comprenant un aspect micropaléontologique. Encore une fois, la main d'oeuvre est le facteur limitatif.

11.3 Télédétection

L'analyse des formes de relief et des sédiments superficiels à l'aide d'observations aériennes a soulevé un intérêt considérable depuis les débuts de la photographie aérienne. L'avènement de nouvelles techniques de télédétection, dont l'information provient d'avions et de satellites, a généré un regain d'intérêt envers des problèmes traditionnels de la géologie du Quaternaire ainsi que des projets de recherche innovateurs portant sur une vaste étendue de sujets qui n'auraient même pas été concevables il y a à peine une décennie. La photo-interprétation est maintenant associée à l'évaluation d'autres types d'images obtenues à l'aide de capteurs sensibles aux ondes à l'extérieur du spectre visible (ultraviolettes, thermiques et micro-ondes). Ainsi, le terme photo-interprétation peut être avantageusement remplacé par celui d'interprétation d'images, ce dernier se rapportant à l'activité des scientifiques qui font appel aux techniques de télédétection dans le cadre de leur travail.

La télédétection peut fournir des renseignements sur une grande variété de propriétés physiques se rapportant au socle rocheux, aux matériaux superficiels, au sol, à l'eau et à la glace, telles que la réflectivité, la couleur, la radiance, le pouvoir émissif, la température, la rugosité de la surface et la couverture végétale. Ces données sont présentées sous forme de cartes selon les types d'image, la majorité d'entre elles pouvant être corrigées manuellement afin de correspondre au quadrillage sélectionné, quelle que soit l'échelle. Le principal avantage de l'utilisation de la télédétection

en Quaternaire est l'obtention rapide de données continues sur de grandes distances à une fraction du coût des campagnes de terrain. Le principal désavantage, particulièrement dans le cas de la télédétection à partir de satellites, provient du fait que ces mesures sont effectuées à des distances relativement grandes, ce qui entraîne une perte de la force du signal et une résolution réduite créant des problèmes de détection des caractéristiques de plus petite dimension. Toutefois, l'amélioration des sytèmes d'images au cours des dix dernières années a permis aux géologues de cartographier, de mesurer et d'étudier une variété de caractéristiques géomorphologiques avec une vitesse et une précision sans précédent.

Le quaternariste jouit d'un avantage précis comparativement à son collègue qui étudie le socle parce que le relief, son principal objet d'étude, est directement visible sur l'image. Ses travaux comportent généralement une moins grande part de déduction que dans le cas de tous les autres types d'interprétation et un plus haut degré de fiabilité. L'étude de la subsurface présente davantage de difficultés puisque la pénétration demeure limitée malgré l'utilisation de capteurs à micro- ondes. Le succès du radar de la navette spatiale dans la détection de vallées enfouies dans le Sahara remontant à un ancien épisode pluvial ne devrait pas être considéré comme une indication des résultats que pourrait atteindre la cartographie, dans l'ouest canadien, de chenaux creusés dans le socle et remplis de matériel de remplissage et le contenu en humidité sont très différents dans les deux cas. En ce qui a trait à des problèmes de ce type, la meilleure méthode consiste encore à interpréter les détails auxiliaires déduits de la végétation ou du sol. Il en est de même du pergélisol et il ne fait aucun doute que certains liens importants entre le régime thermique de la subsurface et la microtopographie n'ont pas encore été établis avec certitude. Une intégration minutieuse des données obtenues par télédétection et des données environnementales, particulièrement botaniques, est essentielle à l'étude des corrélations entre les processus, la morphogenèse et l'environnement. La réussite de l'analyse dépend souvent plus de l'expérience professionnelle et de la connaissance régionale de l'interprète que de la performance du capteur.

Si l'on considère son étendue et ses ressources financières, le Canada a un dossier peu reluisant pour ce qui est de la mise au point de techniques de télédétection appliquées au Quaternaire. Le Quaternaire est considéré comme un domaine éloigné des principaux intérêts du Centre canadien de télédétection et les gouvernements provinciaux disposent rarement de l'expertise nécessaire dans le cadre de ce genre de travaux. Dans les universités, la télédétection n'a pas pu acquérir le statut de discipline autonome et constitue généralement une addition à la géographie (comme c'est le cas à McGill, Waterloo et Sherbrooke) ou à la foresterie (comme c'est le cas à l'Université de la Colombie-Britannique). Les contraintes financières sévères qu'ont connu les universités a freiné le perfectionnement de cours thématiques ou régionaux spécialisés en télédétection où l'on aurait accordé aux applications de la géologie du Quaternaire l'importance qu'elles méritent. Ce n'est probablement pas une coïncidence si une des meilleures publications canadiennes traitant d'une variété de sujets dans le domaine de la géomorphologie appliquée et de la télédétection[1] soit le produit de l'expérience de terrain d'un ingénieur géologue évoluant en dehors des contraintes imposées par les disciplines universitaires et les mandats gouvernementaux.

12. Interdépendance des disciplines du Quaternaire

Le thème principal qui domine ce rapport est qu'en l'absence de coopération entre les scientifiques de différentes spécialités, l'expansion du Quaternaire est impossible. La communication et l'interaction entre les membres de la communauté quaternaire doivent se poursuivre. Si cela se réalise souvent au niveau personnel, des tentatives de contacts plus officielles doivent être encouragées par le biais de revues et d'associations spécialisées ainsi que de symposiums qui se tiennent souvent lors de réunions de sociétés scientifiques plus importantes.

12.1.1 Publications scientifiques (revues)

Les article scientifiques traitant des progrès réalisés au Canada dans le domaine de la géologie du Quaternaire paraissent dans une grande variété de revues nationales et internationales. Les auteurs d'articles sur le Quaternaire doivent décider de les soumettre à des revues spécialisées dans leur propre discipline ou à des revues plus générales sur le Quaternaire. Celles du deuxième type sont relativement récentes comparativement aux autres publications scientifiques. Deux d'entre elles jouissent d'une très bonne réputation internationale. Il s'agit de "Quaternary Research" dont le premier numéro a été publié en 1970 par l'"Academic Press for the Quaternary Research Center" de l'Université de Washington et de "Boreas" publiée depuis 1971 en

1 Mollard, J.D. et Janes, J.R. Air photo interpretation and the Canadian Landscape, Énergie, Mines et Ressources, Canada, 1984.

Angleterre par les pays du Norden. À la question 42 qui demandait dans quelles revues les répondants jugeaient bon de faire paraître les articles canadiens, ce sont ces deux périodiques qui ont été mentionnés le plus souvent, parmi les cinq revues les plus reconnues.

En plus de "Quaternary Research" et de "Boreas", le tableau 12.1 comprend aussi la revue "Arctic and Alpine Research" publiée par l'"Institute of Arctic and Alpine Research" de l'Université du Colorado. L'attitude adoptée par la rédaction consiste à ne pas préciser que cette revue se spécialise dans les sujets reliés au Quaternaire même si c'est ce qui se produit en pratique du fait qu'elle se limite aux terrains "froids". La revue "Géographie physique et Quaternaire" des Presses de l'Université de Montréal portait auparavant le titre de "La revue de Géographie de Montréal", avant les changements de directives de publication datant de 1970. Dans son nouveau format, la plupart des articles étaient limités à la province de Québec mais les dernières années ont entraîné un élargissement des sujets traités, des auteurs et des lecteurs. Cette tendance se poursuivra sûrement puisque cette publication est maintenant devenue la revue officielle de CANQUA et de l'Association québécoise pour l'étude du Quaternaire (AQQUA). La direction de la rédaction a récemmment été restructurée. Il est à espérer que cette revue deviendra le principal véhicule reconnu de diffusion de l'information quaternaire au Canada.

La revue "Quaternary Science Reviews" (Oxford, Angleterre) ne figure pas au tableau 12.1 en raison probablement du fait qu'elle ne figurait pas non plus dans les réponses à la question 42. Cette revue n'est pas très connue au Canada, sa publication a débuté en 1982 et elle renferme de nombreux articles de synthèse de grande qualité.

La "Quaternary Research Association" du Royaume Uni prévoit publier à partir de 1986, une nouvelle revue bisannuelle, le "Journal of Quaternary Science" qui s'intéressera surtout aux résultats de projets de recherche multidisciplinaires et interdisciplinaires.

Tableau 12.1 Cinq revues contribuant avantageusement à l'essor de la géologie du Quaternaire au Canada (Question 42)

Journal canadien des sciences de la Terre (Ottawa, Ont.)
Quaternary Research (Seattle, Wash.)
Arctic and Alpine Research (Boulder, Col.)
Géographie physique et Quaternaire (Montréal, Qué.)
Boreas (Oslo)

Le Journal canadien des sciences de la Terre est, d'après les répondants, la revue la plus prestigieuse parmi celles qui ne se consacrent pas uniquement au Quaternaire. Près d'un quart des articles au cours des deux dernières années ont porté sur le Quaternaire. La qualité des articles, l'étendue des sujets et les normes de rédaction montrent que cette revue continue d'être un important débouché pour le Quaternaire au Canada.

12.1.2 Autres publications

Les commissions géologiques fédérales et provinciales publient des sommaires sur les recherches en cours, des articles sur des sujets d'actualité et financent la réalisation de monographies détaillées au terme des principaux programmes de recherche. Bien que ces publications constituent dans un sens une contribution importante à la géologie du Quaternaire, à la fois fondamentale et appliquée, leur utilité est grandement restreinte en raison de leur inaccessibilité puisqu'en général la plupart des bibliothèques les classent avec toutes les autres publications gouvernementales (voir la section 11.1).

Les quaternaristes publient une variété de bulletins et de publications éphémères se rapportant généralement à des sous-domaines restreints du Quaternaire. Cette documentation est une méthode de diffusion rapide et peu coûteuse des observations et conclusions préliminaires, antérieures à la publication finale. Elle paraît généralement en peu d'exemplaires mais a un tirage international. Au Canada, "La Lettre du Loess", bulletin de la "Loess Commission" de l'INQUA, publié par les groupes de génie géologique et de recherche sur le Quaternaire de l'Université de Waterloo (département des sciences de la Terre) et le "Zooarchaelogical Research News" du département d'archéologie de l'Université Simon Fraser, sont des exemples de ce type de publications. Le bulletin des membres de CANQUA appartient aussi à cete catégorie.

Dans un pays où les interactions entre les membres de la communauté scientifique sont entravées par la distance et la faible densité géographique de chercheurs, les échanges d'idées préliminaires sont essentiels. La production de publications éphémères peu coûteuses, à tirage irrégulier et rapide devrait être encouragée.

Un grand nombre de publications à tirage unique paraissent à la suite de réunions spéciales,

surtout celles qui comprennent des excursions. Leur participation à la description de l'état actuel de la recherche et l'orientation des travaux futurs est capitale. "Glacial Lake Agasiz" (Teller, J.T. et Clayton, L., éditeurs, Assoc. géol. Can., Special Paper 26, 1983), résultat du symposium sur le lac glaciaire Agassiz, tenu à Winnipeg en 1982 est un exemple excellent de ce genre de publications. Les publications qui ont suivi les symposiums sur le Quaternaire organisés à l'origine à l'Université de York mais se tenant maintenant dans différentes régions du Canada, entrent aussi dans cette catégorie. Le septième symposium sur les paléoenvironnements quaternaires, et aussi le plus récent, s'est tenu en août 1985, à Lethbridge, en Alberta.

On a assisté à un flot continu d'articles et de monographies scientifiques au cours des quinze dernières années. Par contre, les ouvrages plus volumineux n'abondent pas sur la liste des publicaitons canadiennes sur le Quaternaire et il est difficile pour le non-spécialiste d'avoir une vue globale des derniers progrès réalisés dans le domaine du Quaternaire malgré la publication de quelques ouvrages régionaux ou portant sur un seul sujet (voir l'annexe 5). Le survol national de la géologie du Quaternaire est limité aux publications de la Commission géologique du Canada, surtout dans les sections pertinentes de la cinquième édition, parue en 1970, de "Géologie et ressources minérales du Canada". La publication d'un ouvrage en un seul volume sur le Quaternaire doit coïncider avec la réunion de 1987 de l'INQUA qui se tiendra au Canada.

12.2 Associations scientifiques

12.2.1 Associations scientifiques au Canada

Dans la plupart des pays, les associations de géologie du Quaternaire étaient à l'origine des sections de sociétés nationales à partir desquelles le Quaternaire a évolué. C'est le cas des sociétés professionnelles géologiques et géographiques qui organisaient des réunions spécialisées sur des sujets quaternaires. Au Canada, l'Association géologique du Canada, l'Association canadienne des géographes et l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences ont joué ce rôle. Cependant, les mêmes besoins qui avaient entraîné la création de l'Association internationale pour l'étude du Quaternaire se faisaient sentir au niveau national. AMQUA aux États-Unis, (connue anciennement sous le nom de "Friends of the Pleistocene", groupe réuni pour la première fois en 1949 à Toronto, ne se définissait pas comme une association), DEUQUA en Allemagne, NORQUA en Scandinavie et QRA en Grande-Bretagne ont toutes été fondées dès le début des années 70.

L'élaboration des organismes canadiens a été plus lente. Les quaternaristes canadiens s'interrogeaient à l'origine sur l'ampleur de leur participation à AMQUA et même quand cette question fut réglée, la création d'une association nationale s'est effectuée lentement. En même temps, au Québec, l'Association québécoise pour l'étude du Quaternaire (AQQUA) était fondée lors du 42e congrès de l'ACFAS en 1974. Les réunions subséquentes se sont toutes tenues dans la province même si le mandat de l'organisme s'étend au nord-est de l'Amérique du Nord. Ses relations étroites avec "Géographie physique et Quaternaire" (GPQ) ont été reconnues officiellement depuis 1984. La société compte 200 membres et est très active. Elle est assistée par l'Association canadienne pour l'étude du Quaternaire (CANQUA), organisme national créé en 1980.

Les organismes scientifiques canadiens d'envergure nationale font face à des difficultés financières et administratives considérables lors de leur création et CANQUA n'y a pas échappé. Elle aura besoin de tout l'appui disponible au cours des prochaines années afin de répondre aux attentes des quaternaristes canadiens.

CANQUA compte environ 300 membres, elle tient des réunions bisannuelles coïncidant avec le symposium quaternaire de York et jouit d'une grande réputation dans l'organisation d'excursions portant sur des problèmes quaternaires majeurs. Elle reconnaît, de même que l'AQQUA, le fait que la revue GPQ est la revue canadienne officielle du Quaternaire. Ceci devrait amener un nombre plus grand de scientifiques à y contribuer. Le succès de l'AQQUA indique que la formation de groupes régionaux de CANQUA, fonctionnant de façon active est non seulement possible mais aussi souhaitable, surtout dans l'optique de stimuler la recherche quaternaire locale de nature multidisciplinaire.

12.2.2 Contribution canadienne aux associations internationales

Plusieurs associations scientifiques internationales ont des groupes de travail, des projets et des commissions dont le but est d'étudier les problèmes reliés aux événements quaternaires. Les associations comprennent des géologues (UISG), des géographes (UGI), des géophysiciens (UGGI) et des biologiestes (UISB). Au cours des deux dernières décennies, le Canada a été l'hôte de réunions organisées par les

quatre associations et a tenu des excursions et des symposiums sur des thèmes quaternaires.

L'Association internationale pour l'étude du Quaternaire (INQUA) est née lors d'une réunion au Danemark, en 1928. Malgré son rôle de plus en plus actif après 1945, aucun congrès ne s'est tenu hors de l'Europe avant 1965. À l'origine, la participation canadienne était limitée mais elle s'est rapidement accrue avec l'expansion nationale des travaux quaternaires aux cours des vingt dernières années et le douzième congrès se tiendra à Ottawa, en 1987.

13 La présence du Quaternaire dans la société

Les quaternaristes semblent partager avec la plupart des autres spécialistes des sciences de la Terre une abilité remarquable pour passer inaperçus en public. Le Quaternaire ne pourra espérer que le Canada lui fournisse l'appui nécessaire à son expansion à moins que la société ne comprenne, dans une certaine mesure, ses objectifs et ses applications.

Le Quaternaire a comme but la description et l'interprétation de l'environnement physique de l'homme et des ressources naturelles sur lesquelles est basée une grande partie de l'économie nationale. Lorsqu'on en fait une description adéquate, le Quaternaire est une période incroyablement attrayante qui ouvre de larges perspectives au prophane. Nous avons déjà mentionné (8.1) l'insuffisance de l'attention accordée au Quaternaire dans les établissements scolaires. C'est à ce niveau que l'information devrait d'abord être diffusée mais la sensibilisation devrait se poursuivre dans toutes les classes de la société. Il faudra maintes fois répéter que la géologie du Quaternaire peut fournir des renseignements essentiels à l'aménagement territorial et urbain, à l'exploitation des ressources, à l'utilisation rationnelle des sols agricoles et aux études géochimiques de l'environnement avant que le Quaternaire ne soit apprécié à sa juste valeur.

Il y a moyen de rejoindre un auditoire considérable en utilisant la voie de l'écriture populaire notamment par le biais d'articles de revues, de guides se rapportant aux parcs et aux principales autoroutes (la transcanadienne par exemple), de l'identification et de l'inscription en tant que monuments nationaux des localités possédant des caractéristiques morphologiques quaternaires exceptionnelles. Ce ne sont que quelques unes parmi les façons d'expliquer et de présenter aux Canadiens les événements naturels des deux derniers millions d'années.

Les quaternaristes sont rarement conscients du rôle qu'ils devraient jouer dans la société, comprenant entre autres, la description et la diffusion des résultats de leurs recherches. Les associations scientifiques nationales et régionales ainsi que les institutions devraient poursuivre activement cet objectif.

Les musées nationaux, provinciaux et universitaires sont un lien important entre les quaternaristes et le public général (y compris les écoles). Les musées ne possèdent pas tous une section d'histoire naturelle portant sur le Quaternaire et dans certaines provinces cet aspect est manifestement absent. Dans d'autres musées, les expositions sur le Quaternaire ont généralement une optique régionale très stimulante mais "au Canada, les expositions sur le Quaternaire devraient être plus attrayantes et mieux équilibrées" (directeur général de musée).

Il ne faudrait pas croire que les musées vont s'intéresser d'eux-mêmes au Quaternaire. Lorsque les associations nationales et régionales se réunissent, elles devraient encourager les musées à préparer des expositions temporaires axées sur les principaux sujets faisant l'objet de la rencontre. De cette façon, l'événement rejoindra un nombre de gens beaucoup plus grand que ne l'aurait fait un simple communiqué de presse.

Annexe 1.

Questionnaire posté aux scientifiques canadiens

CANADIAN GEOSCIENCE COUNCIL
STUDY OF QUATERNARY GEOSCIENCE IN CANADA

The Canadian Geoscience Council has established a Committee to study the state of Quaternary geoscience in Canada. The Committee is chaired by J. Brian Bird, and is composed of David S. Christiansen, Claude Hillaire-Marcel, Jacques Ladret, Alan V. Morgan, Pete Mudie, Olav Slaymaker, Archibald M. Stalker and Denis Szabo. The Committee seeks to determine the status of Quaternary research in Canada, the existing need for Quaternary research and the adequacy of current educational, government and industrial support to meet these needs. The Committee has also been directed to recommend improvements and new directions for Quaternary geoscience research.

The Committee defined Quaternary geoscience rather broadly so that all areas of expertise listed under questions 6 and 10 are of central importance to our study as far as they relate to Pleistocene, Holocene, present and future environmental interpretation. If in doubt about the relevance of your research, err on the direction of inclusiveness.

The attached questionnaire is an initial task to determine the magnitude and scope of Quaternary geoscience, and input is needed from all Canadian Quaternary scientists if the study is to be effective. Please participate !!! If, for the questionnaire does not adequately address an issue or point, please append additional comments to the last page. All personal information will be held strictly confidential. Please mail your completed questionnaire to:

Glen Stockwell
Department of Geography
University of British Columbia
[illegible] West Mall
Vancouver, British Columbia, V6T 1W5
tel: (604) 228 2520

If you know of other persons who are interested in participating please request another questionnaire from Dr. Stockwell or make a copy of this form.

1. Please list your name and title:

2. Company and Division, Government agency and Division, or University and Department for which you work:

Part 1.

3. Highest degree earned:
___ BSc.
___ MSc.
___ PhD.
___ more post-doctoral fellowship

4. Number of years of work experience you have had in:
___ industry
___ government
___ university (excluding degree)
___ other (specify) _____

5. What percentage of your work effort is related to:
___ administration
___ consulting
___ research
___ teaching
___ other (specify) _____

6. What percentage of your research effort is:
___ applied research with specific practical goals in mind or
___ basic, or pure research aimed at obtaining scientific knowledge?

7. In what general subject areas is your research focused? Indicate as percentages??

___ archaeology
___ economic geology
___ environmental geochemistry
___ geophysics
___ glacial geology
___ hydrology
___ oceanography
___ pedology
___ physical geography
___ stratigraphy
___ volcanology
___ climatology
___ engineering geology
___ geomorphology
___ geotechnique
___ glaciology
___ marine geology
___ paleoecology/paleontology
___ permafrost
___ sedimentology
___ structure/tectonics
___ other _____

8. List your specific research interests or specialties in order of personal importance:

_____
_____
_____
_____

9. What percentage of your primary data is derived from the:
_____ field
_____ laboratory
_____ literature
_____ other _____
_____

10. What percentage of your data collection is directed towards:
___ process studies
___ chronological or paleoenvironmental
___ mapping
___ methodological development
___ other _____
_____

11. Describe your objective chronologically and briefly.

12. In what environments (eg. marine, coastal, glacial, mountain) are you primarily employed?

13. What research techniques do you employ routinely (eg. field observation, mapping, radiometric or isotopic age dating, remote sensing, digital cartographic analysis, computer modelling, etc.)?

14. If interested in more than one of the following, rank in order of importance:
___ pre-Holocene events
___ Holocene events
___ Wisconsin events
___ historical and present events
___ prediction
___ the Quaternary as a whole

15. What size of region do you study and in what detail?

16. In which areas of the world is most of your Quaternary research conducted?

	region	scale	order when published
North America			
elsewhere			

17. Do you regularly collaborate with researchers in other areas of expertise?
___ from your department
___ from your institution
___ from other institutions:
___ university
___ provincial government
___ federal government
___ industry
___ other _____
___ from other countries

18. If the answer to question 17 is yes, what areas of expertise do your collaborators bring to these projects?

___ archaeology
___ economic geology
___ environmental geochemistry
___ geophysics
___ glacial geology
___ hydrology
___ oceanography
___ pedology
___ physical geography
___ stratigraphy
___ volcanology
___ climatology
___ engineering geology
___ geomorphology
___ geotechnique
___ glaciology
___ marine geology
___ paleoecology/paleontology
___ permafrost
___ sedimentology
___ structure/tectonics
___ other _____

19. Do you consider this collaboration essential to your research objectives? Why?

20. Please list your sources of research grants, funding resolutions or personal salary and provide the approximate amounts for the years indicated.

1986 sources _____
amount _____
1987 sources _____
amount _____
1988 sources _____
amount _____

21. Do you regard this funding level as:
___ very good
___ adequate
___ inadequate

Reasons:

22. What percentage of your research budget is spent typically on:
___ student support
___ secretarial, cartographic, and administrative services
___ equipment
___ field work expenses
___ laboratory analysis
___ computing
___ other _____

23. What laboratory and logistical facilities are currently available to support your research?

24. What laboratory and logistical facilities are unavailable to you?

25. Do you use computational facilities? If not, briefly explain why and proceed to question 29.

26. What computational facilities are currently available to support your research?
___ personal or mini computer
___ large, general purpose computer
___ teleprocessing network(specify)
_____
___ other _____

27. What percentage of your computer usage is related to
___ statistical data analysis
___ data processing
___ numerical modeling
___ other _____

28. Are the computer hardware and software available to you adequate?

29. Are you aware of data sources, such as industrial companies, governments or university research programs that would aid your research significantly but are currently unavailable to you?

30. Why are these data unavailable to you?

31. What should be done to improve the availability of these data?

PART II

12. What do you, as a Quaternary geoscientist, think are the most important research question(s) being addressed at present, and rank, if possible.

13. Are there any significant research questions that, in your opinion, are not being pursued adequately in Canada? If so, what are these?

14. What are the most significant stumbling blocks to Canadian Quaternary research at present?

_____ inadequate funding

_ __ poor interdisciplinary communication

_____ poorly defined research objectives

_____ poorly defined research methodologies

_____ other ___ _____ _____

An extremely small group of scientists spread over and beyond a very large country

15. What should be done to improve the status of Quaternary research in Canada?

_____ increase the level of funding to individual researchers

_____ establish new, interdisciplinary research programmes including joint efforts by government, industry and university scientists

_____ establish a single, national research center, independent of government and universities, that would provide a core team to lead research activities and provide high quality facilities for its own and visiting industry, university and government scientists

_____ establish new, regional research centers, possibly associated with universities across Canada to focus research

Other ideas:

16. If funding is inadequate, and more funding becomes available, should

_____ more funds be distributed through existing granting organizations and programmes

_____ more funds be distributed through new organizations and programmes

_____ funds be distributed on different criteria than at present

Other ideas:

17. What research topics should receive the highest funding priority?

18. Is there sufficient interdisciplinary communication and cooperation among Quaternary researchers in Canada? If not, what should be done?

19. Where are the centres of excellence in Quaternary research in the world today?

20. What factors do you believe have led to their success?

21. How does the quality of Quaternary research in Canada compare with that elsewhere in the world?

22. Please list the five major research journals and publications which you consult regularly in descending order of importance althour present contribution to Canadian Quaternary research.

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

23. Do you consult Government publications on a regular basis? Please be specific.

24. Are more media for storage, presentation and publication of Quaternary geoscience data needed and, if so, what should be their purpose and scope?

PART III.

25. Is Quaternary research sufficiently important to the economy, environmental protection, and other national interests of Canada to justify significantly increased public sector support? Please elaborate.

26. Does Quaternary research in Canada currently serve the national interest? If not, what direction should future research take?

27. What areas of Quaternary research require the most intensified national effort in Canada and what is the significance of these research topics?

28. How can the public be made more aware of the importance of Quaternary research to the national interests of Canada?

PART IV

The following questions are to be completed by researchers in government and private industry. If you are a university researcher, please skip to question # 34.

29. From your experience, what aspects of academic training in Quaternary geoscience are most deficient in Canadian universities with regards to the needs of industry and government?

30. If you feel that improvements are needed in training, what adjustments would you make to Canadian university programmes?

31. Has your research group recently worked jointly with Canadian universities (including supporting graduate student thesis research)? Please describe.

32. Have these joint projects been satisfactory? If not, why not?

33. Is there a pressing need for professional registration, standards and testing of Quaternary researchers on a national or provincial level? If so, why?

PART V.

For University Researchers

34. Is Quaternary research generally recognized as a distinct area of academic activity? If so, is Quaternary research comparable in quality to other academic activities?

35. Does Quaternary research have a unifying theme or theoretical framework? If so, elaborate.

36. What is the current quality of undergraduate training in Quaternary research in Canada and what should be done to improve it?

37. What is the current quality of graduate training in Quaternary research in Canada and what should be done to improve it?

38. Do most of your students find work directly related to Quaternary research upon graduating? If not, why?

39. Do you consult on Quaternary related projects in addition to your academic responsibilities? If so, how many hours per year do you spend consulting?

***** End of Questionnaire *****

Additional comments:

Annexe 2.

Distribution du questionnaire et nombre de réponses reçues

1.	Nombre de questionnaires distribués		984
2.	Nombre de questionnaires reçus		164
3.	Associations de sciences de la Terre et autres listes dépouillées pour l'établissement des listes d'adresses		
	Association canadienne pour l'étude du Quaternaire		(CANQUA)
	Association canadienne des géographes		(ACG)
	Association québécoise pour l'étude du Quaternaire		(AQQUA)
	Société canadienne de géotechnique		
	International Quaternary Palynologists		
	'Climatic modellers' (EMR/AES)		
	Liste de répartition des quaternaristes – région de l'Atlantique		
	Dossier du CRSNG sur le Quaternaire		
	Canadian Permafrost Conference		
4.	Répartition des répondants selon les domaines d'emploi		
	Gouvernement:	fédéral	31
		provincial (comprenant les territoires)	22
	Industrie et entreprise privée		21
	Université:	géographie	40
		sciences de la Terre	26
		archéologie et anthropologie	12
		biologie	5
		zoologie	3
		ingénierie	2
		physique	1
		aménagement	1
5.	Répondants détenteurs d'un doctorat		70%
	domaines d'emploi: gouvernement		56%
		industrie	33%
		université	95%
	autre diplômes:	maîtrise	22%
		baccalauréat	8%
6.	Répartition géographique des répondants selon les principales régions étudiées.		

Annexe 3.

Soutenances de doctorats dans le domaine de la géologie du Quaternaire (1979-84)

Adshead, J.D. (1983, Missouri). Hudson Bay river sediments and regional glaciation.

Aksu, A.E. (1981, Dalhousie). Late Quaternary stratigraphy, paleoenvironmentology and sedimentation history of Baffin Bay and Davis Strait.

Alam, M. (1979, Dalhousie). The effect of Pleistocene climatic changes on the sediments around the Grand Banks.

Bail, P. (1984, McGill). Problèmes géomorphologiques de l'englacement de la transgression marine pléistocène en Gaspésie sud-orientale.

Beaudoin, A.B. (1984, Western Ontario). Holocene environmental change in the Sunwapta Pass area, Jasper National Park.

Bednarski, J. (1984, Alberta). Glacier fluctuations and sea level history of the Clements Markham Inlet, Northern Ellesmere Island.

Bouchard, M.A. (1981, McGill). Late Quaternary geology of the Temiscamie area, central Québec.

Broster, B. (1983, Western Ontario). Geochemical trends and stratigraphy of the St. Joseph's till along the eastern shore of Lake Huron.

Clark, P.U. (1983, Colorado). Glacial geology of the Kangalaksiovik-Abloviak region, northern Labrador, Canada.

Cwynar, L.C. (1980, Toronto). Late Quaternary vegetation history from Hanging Lake, Northern Yukon.

Davis, P.T. (1980, Colorado). Late Holocene glacial, vegetational and climatic history of Pangnirtung and Kingnait Fiord area, Baffin Island, N.W.T., Canada.

Dubois, J.M.M. (1980, Ottawa). Environnements Quaternaires et évolution Postglaciaire d'une zone côtière en émersion en bordure sud du bouclier Canadien.

Gascoyne, M. (1980, McMaster). Pleistocene climates determined from stable isotope and geochronologic studies of speleothem.

Gilchrist, C.M. (1982, Massachusetts). The glacial geology of the southeastern area of the district of Keewatin, Northwest Territories, Canada.

Hicock, S.R. (1980, Western Ontario). Pre-Fraser Pleistocene stratigraphy, geochronology, and paleoecology of the Georgia Depression, British Columbia.

Hillaire-Marcel, C. (1979, Paris VI). Les mers post-glaciaires du Québec: quelques aspects.

Jefferies, M.O. (1985, Calgary). Physical, chemical and isotopic investigations of Ward Hunt ice shelf and Milne ice shelf, Ellesmere Island, N.W.T.

Karlstron, E.T. (1981, Calgary). Late Cenozoic soils of the Glacier and Waterton Parks area, northwestern Montana and southwestern Alberta and paleoclimatic implications.

Kearney, M.S. (1981, Western Ontario). Late Quaternary vegetational and environmental history of Jasper National Park, Alberta.

Kite, J.S. (1983, Wisconsin). Late Quaternary glacial, lacustrine and alluvial geology of the Upper St. John River basin, northern Maine and adjacent Canada.

Klassen, R.A. (1982, Illinois). Quaternary stratigraphy and glacial history of Bylot Island, N.W.T., Canada.

Kvill, D.R. (1985, Alberta). Glacial Geomorphology of the Brazeau River Valley, foothills of Alberta.

Lamothe, M. (1985, Western Ontario). Lithostratigraphy and geochronology of the Quaternary deposits of the Pierreville and St. Pierre Les Becquets areas, Québec.

Last, W.M. (1980, Manitoba). Sedimentology and Post-glacial history of Lake Manitoba.

Lauriol, B. (1982, Montréal). Géomorphologie quaternaire au sud de l'Ungava, Nouveau-Québec.

Leonard, E.M. (1981, Colorado). Glaciolacustrine sedimentation and Holocene glacial history, Northern Banff National Park, Alberta.

Liu, K.B. (1982, Toronto). Postglacial vegetational history of northern Ontario: a palynological study.

Locke, W.W. (1980, Colorado). The Quaternary geology of the Cape Dyer area, southernmost Baffin Island, Canada.

Mode, W.N. (1980, Colorado). Quaternary stratigraphy and palynology of the Clyde Foreland, Baffin Island, N.W.T., Canada.

Mudie, P.J. (1980, Dalhousie). Palynology of Late Quaternary marine sediments, Eastern Canada.

Occhietti, S. (1979, Ottawa). Le Quaternaire de la région de Trois-Rivières- Shawinigan, Québec.

Osterman, L.E. (1982, Colorado). Late Quaternary history of southern Baffin Island, Canada: A Study of foraminifera and sediments from Frobisher Bay.

Pagé, P. (1982, Paris-Sud). Caractérisation isotopique des milieux glacio-marins de l'Arctique Canadien.

Proudfoot, D.N. (1985, Alberta). A lithostratigraphic and genetic study of Quaternary sediments in the vicinity of Medicine Hat, Alberta.

Quinlan, G.M. (1981, Dalhousie). Numerical models of postglacial relative sea level change in Atlantic Canada and the Eastern Canadian Arctic.

Rodrigues, C.G. (1981, Carleton). Holocene microfauna and paleoceanography of the Gulf of St. Lawrence.

Smee, B.W. (1983, New Brunswick). Sedimentological and mineralogical characteristics of offshore sediments, southeastern Nova Scotia.

Stewart, R.A. (1982, Western Ontario). Glacial and glaciolacustrine sedimentation in Lake Maumee III near Port Stanley, southwestern Ontario.

Tucker, C.M. (1979, McMaster). Late Quaternary events on the Burin Peninsula, Newfoundland.

Wightman, D.M. (1980, Dalhousie). Late Pleistocene glaciofluvial and glaciomarine sediments on the north side of the Minas Basin, Nova Scotia.

Williamson, M.A. (1983, Dalhousie). Benthic foraminiferal assemblages on the continental margin off Nova Scotia: A multivariable approach.

Wilson, M.A. (1981, Saskatchewan). The climatic and vegetational history of the Postglacial in central Saskatchewan.

Yonge, C.J. (1982, McMaster). Stable isotope studies of water extracted from speleothems.

Annexe 4
Thèses de maîtrise dans le domaine de la géologie du Quaternaire (1979-84)

Allen, H.D. (1982, Calgary). Dendrochronological studies in the Slims River Valley, Yukon Territory.

Andsiashek, L. (1985, Alberta). Quaternary stratigraphy of the Sand River area, NTS 73L.

Aravena, R.O. (1982, Waterloo). O, H, and C in tree rings and their relationship to the environment.

Arsenault, M. (1979, Québec). Étude morphologique de poissons fossiles de la mer de Champlain (Pléistocène supérieur), en provenance de Green Creek, Ottawa.

Baron-Lafrenière, L. (1983, Montréal). Géomorphologie glaciaire de la région du mont Jacques-Cartier, Gaspésie.

Barrie, C.Q. (1980, Dalhousie). Late Quaternary geological history of Makkovik Bay, Labrador.

Batterson, M.J. (1980, Memorial). Contemporary frontal moraine formation in the Yoho Valley, British Columbia.

Bell, A. (1980, U.B.C.). Terrain mapping and regional slope stability evaluation in the Fraser Canyon.

Bezada-Diaz, M. (1981, Ottawa). Champlain sea sediments and landforms in the Alexandria Map area.

Bigras, P. (1984, Sherbrooke). Hydrogéomorphologie fluviale quaternaire du bassin versant de la rivière à la Patate, île d'Anticosti, Québec.

Blackwell, B. (1980, McMaster). Archeometry of five Pleistocene sites as inferred from uranium and thorium isotopic abundances in travel time.

Boissonault, P. (1983, Sherbrooke). Géomorphologie et lithostratigraphie à l'est du lac Memphrémagog.

Bourgeois, J. (1982, Ottawa). Étude palynologique dans la vallée du Grizzly Creek (Yukon).

Brodeur, D. (1981, Laval). La morphologie et l'histoire quaternaire de l'Ile-aux- Coudres.

Bruneau, H. (1984, Ottawa). L'évolution post-glaciaire du secteur aval de la rivière Coppermine, Territoires du Nord-Ouest.

Calderwood, B.J. (1979, Carleton). An inquiry into the formation of ridged moraine and its role in interpretation of the glacial history of the Avalon Peninsula, Newfoundland.

Calverley, A. (1984, Calgary). Sedimentology and geomorphology of the modern epsilon cross-stratified point bar deposits in the Athabasca upper delta plain.

Catto, N.R. (1981, Alberta). The Quaternary geology of the western Cypress Hills region, Alberta and Saskatchewan.

Chamney, L.C. (1980, Queen's). Historical and contemporary sedimentation in Peters Lake, southeastern Ontario.

Champagne, M. (1982, Laval). Paléo-milieux sédimentaires, géochimie d'éléments traces et carbone organique total, dans quatre coupes stratigraphiques des basses-terres du Saint-Laurent.

Cheel, R.J. (1980, Ottawa). Late Quaternary glaciomarine deposits of the Stittsville area, near Ottawa.

Cloutier, M. (1982, UQAM). Géologie et géomorphologie quaternaires de la région de Montréal.

Cole, M.L. (1979, Rice). Nearshore glacial marine sedimentation, based on Late Pleistocene deposits of the Puget Lowlands, Washington and British Columbia.

Comtois, P. (1980, Montréal). Histoire holocène du climat et de la végétation à Lanorais, Québec.

Cook, R.A. (1981, British Columbia). Composition and stratigraphy of Late Quaternary sediments from the northern end of Juan de Fuca ridge.

Corbeil, P. (1984, UQAM). Géologie du Quaternaire de la région de Rigaud/Rivière Beaudette (Québec): Quelques applications à l'environnement.

Cordsen, A. (1980, Dalhousie). Ocean bottom seismometer refraction results from the Continental Margin off Nova Scotia.

Cronin, J.T. (1984, Western Ontario). The raised shorelines of the Northern Penetanguishene Peninsula.

Dale, C.T. (1979, Dalhousie). A study of high resolution seismology and sedimentology on the offshore Late Quaternary sediments northeast of Newfoundland.

Decroix, D. (1984, UQAM). Étude préliminaire de la carte géotechnique de l'île de Montréal.

DeIure, A.M. (1983, Dalhousie). The effect of storms on sediments in Halifax Inlet, Nova Scotia.

Desmarais, G. (1981, Sherbrooke). Les environnements quaternaires et l'évolution post-glaciaire du bassin de la rivière Matamic, Côte Nord du Saint-Laurent.

Desrochers, D. (1983, Ottawa). Permafrost and its relationship to late Quaternary history, high Arctic islands.

De Vernal, A. (1983, Montréal). Paléoenvironnements du Wisconsin par la palynologie dans la région de baie Saint-Laurent, île du Cap Breton.

Dinel, H. (1985, Montréal). Aspects paléo-écologiques et pédologiques du marais tourbeux de Keswick, Ontario.

Dorion, A. (1981, UQAM). Les dépôts quaternaires de la région de Granby-Waterloo, Québec – Cartographie, Sédimentologie et Stratigraphie.

Dove, J.E. (1981, Calgary). Towards a Holocene paleoecology of the Ghost River and Water Valley areas, southwestern Alberta.

Dubé, C. (1983, Sherbrooke). Géomorphologie quaternaire et déglaciation à l'ouest du lac Memphrémagog.

Eilers, W.D. (1982, Saskatchewan). Near-surface glacial till stratigraphy and its effect on soil genesis.

Evans, D.J.A. (1984, Memorial). Glacial geomorphology and chronology in the Salamiut Range/Nachvak Fiord area, Torngat Mountains, Labrador.

Eyles, C.H. (1982, Toronto). The sedimentology of the early and middle Wisconsin deposits at Scarborough Bluffs, Ontario.

Fick, S.F. (1981, Simon Fraser). Louis Agassiz's contributions to glaciology.

Fitzgerald, W.D. (1982, Waterloo). Post glacial history of the Minesing Basin, Ontario.

Forbes, J.R. (1980, Alberta). The paleolimnology of two shallow lakes in Central America.

Gauthier, R. (1981, Montréal). Histoire de la colonisation végétale postglaciaire des Montérégiennes, deux sites du mont St-Bruno.

Geddes, R.S. (1980, Western Ontario). The Vixon Lake indicator train, Northern Saskatchewan.

Glover, B.W. (1979, Alberta). Late Quaternary river terrace evolution in part of the Athabasca River Valley.

Glynn, P. (1982, UQAM). Le transfert au sol du $^{14}CO_2$ en fonction de la latitude (46°-70°N) et de la saison au Québec et sur la terre de Baffin.

Gratton, D. (1984, Sherbrooke). Les paléo-environnements sédimentaires au Wisconsinien moyen et tardif, île d'Anticosti, golfe du Saint-Laurent.

Greene, D.F. (1983, Calgary). Permafrost, fire and the regeneration of white spruce at Arctic treeline near Inuvik, Northwest Territories, Canada.

Guay, F. (1985, Ottawa). Étude palynologique d'une partie du postglaciaire dans la région de la rivière Coppermine, T.N.O.

Hall, R.K. (1985, Dalhousie). Inner shelf acoustic facies and surficial sediment distribution of the Eastern Shore, Nova Scotia.

Hamil, G.B. (1982, Calgary). Quaternary interpretation of southwest Tofino Basin, Pacific Margin, Canada.

Hayward, M. (1979, Ottawa). Aspects of Champlain Sea sedimentation associated with glacial ridges in the South Ottawa region.

Hill, P.R. (1981, Dalhousie). Detailed morphology and Late Quaternary sedimentation of the Nova Scotian slope, south of Halifax.

Holland, D.K. (1979, Western Ontario). The pollen stratigraphy of two Holocene sections in Sunwapta Pass, Jasper National Park, Alberta.

Jennings, D.B. (1984, Alberta). The Late Quaternary geomorphology of Elk Island National Park, Central Alberta.

Jones, N. (1981, Alberta). Glacigenic streamlined landforms near St. Paul, Alberta.

Jones, P. (1982, U.B.C.). Sediment movement in a sub-alpine basin in the Coast Mountains.

Karakostanoglou, I. (1983, McMaster). ESR isochron dating of speleothems.

Kingston, M. (1982, Western Ontario). An evaluation of the recommended methods for Paleosol investigation: A case study of a Holocene Paleosol, Calgary, Alberta.

Kostaschuk, R.A. (1980, Calgary). Late Quaternary history of the Bow Valley near Banff, Alberta.

Kristjansson, F.J. (1980, Ottawa). Cirque multiple glaciation, Grizzly Creek, Yukon Territory and paleoclimatic implications.

Kulig, J. (1985, Alberta). A sedimentation model for the deposition of glacigenic deposits in central Alberta.

Lacomfe, J. (1979, Laval). Géomorphologie glaciaire de la partie centrale du comté de Bellechasse.

Lapierre, G. (1983, UQAM). Caractéristiques isotopiques (^{18}O) d'une tourbière à palses et détermination des variations de composition isotopique des précipitations dans la région de Poste-de-la-Baleine, durant une année hydrologique.

Larocque, A. (1983, Sherbrooke). Développement des lacs proglaciaires et déglaciation des hauts bassins des rivières au Saumon et Chaudière, sud du Québec.

Larocque, G. (1983, Sherbrooke). Géologie et géomorphologie du Quaternaire dans le bassin du haut-Saint-Francois, sud du Québec.

Larouche, A. (1979, Laval). Histoire postglaciaire comparée de la végétation, à Sainte-Foy et au mont des Éboulements, Québec, par l'analyse macrofossile et l'analyse pollinique.

Leckie, D.A. (1980, McMaster). Late Quaternary history of the Hermitage Bay area, Newfoundland.

Leveque, G. (1982, UQAM). Géologie des dépôts quaternaires de la région de Oka – Ste-Scholastique, Québec.

Leyland, J.G. (1984, Brock). Quaternary geology of the Campbellford, Trenton, Consecon, Tweed, Belleville, Wellington, Sydenham, Bath and Korkshire map-areas, Ontario.

Liveman, D. (1981, Alberta). Sedimentology and drainage history of a glacier-dammed lake, St. Elias Mountains, Yukon Territory.

MacDonald, G.M. (1980, Calgary). The post-glacial paleoecology of the Morley Flats and Kananaskis Valley Region, Southwestern Alberta.

Mathieu, C. (1984, Montréal). Morphogenèse holocène des dunes et des palses de la basse vallée du Koroc (Nouveau-Québec).

Malott, M.L. (1981, British Columbia). Distribution of foraminifera in cores from Juan de Fuca ridge, North East Pacific.

McCourt, G.H. (1982, Alberta). Quaternary palynology of the Bluefish Basin, Northern Yukon Territory.

Mellars, G. (1981, Memorial). Deglaciation of the Pouch Cove Area, Avalon Peninsula, Newfoundland: a palynological approach.

Miller, A-A. L. (1983, Dalhousie), Elphidium excavatum (Terquem): paleobiological and statistical investigations of infraspecific variation.

Miller, R.F. (1980, Waterloo). Paleoentomological analysis of a postglacial site in northwestern New York State.

Miles, M. (1980, U.B.C.). Bank and slope morphology as an indicator if arctic terrain stability.

Montgomery, K. (1980, Waterloo). Air-Photo interpretation of micro-relief in the Conestoga Lake area, Ontario.

Moreno-Hentz, P.E. (1985, McMaster). Sedimentology of modern alluvial fans, Baja California, Mexico.

Nadler, D. (1984, U.B.C.). Groundwater hydrology and slope movement at Pavilion, B.C.

Naldrett, D.L. (1981, Ottawa). Aspects of the surficial geology and permafrost conditions, Klondike Goldfields and Dawson City, Yukon Territory.

Nolin, A. (1981, Sherbrooke). Sédimentologie et géomorphologie associées au lac glaciaire Algonquin, près du site paléo-indien Fisher, Stagner, Ontario.

Ouimet, D. (1983, Ottawa). Étude palynologique des argiles de la mer de Champlain dans le canton de Cumberland, Est-Ontario.

Painchaud, A. (1984, Sherbrooke). Déglacement par Calotte résiduelle au Wisconsinien tardif et émersion de l'île d'Anticosti, golfe du Saint-Laurent.

Parent, M. (1979, Sherbrooke). Géomorphologie quaternaire de la région de Stoke-Watopéka, Québec.

Rajewicz, R. (1979, UQAM). Analyse de séries chronologiques de l'est du Canada, appliquée à l'étude des cycles climatiques.

Rhine, J. (1984, Calgary). Sedimentological and Geomorphological Reconstruction of the Late Pleistocene Athabasca Fan Delta, Northeast Alberta.

Roberts, R.G. (1984, U.B.C.). Stream channel stability in the Queen Charlotte Islands.

Saunders, I. (1985, Simon Fraser). Late Quaternary Geology and Geomorphology of the Chilliwack River Valley, British Columbia.

Schreiner, B.T. (1980, Saskatchewan). Quaternary geology of the Precambrian Shield south of 58°N. lat., Saskatchewan.

Seaman, A. (1983, Toronto). The late Quaternary History of the Burtt's Corner Area of New Brunswick.

Souch, C.J. (1985, U.B.C.). Holocene Lacustrine Sedimentation in a small Sub-Alpine watershed.

Smith, D.L. (1984, Dalhousie). Modern and fossil diatoms of Porters Lake, Nova Scotia: a postglacial history with special reference to marine intrusion.

Squires, C. (1984 Windsor). The late Foxe Deglaciation of the Burton Bay Area, Southwestern Baffin Island, N.W.T.

Stea, R.R. (1982, Dalhousie). The Properties, Correlation and Interpretation of Pleistocene Sediments in Central Nova Scotia.

Steele, K. (1985, Alberta). Utilizing glacial geology in uranium exploration, Dismal Lakes, Northwest Territories.

Stewart, T.G. (1981, Alberta). The Holocene paleoenvironment of Clements Markham Inlet, Northern Ellesmere Island, N.W.T., Canada.

Stravers, L.K.S. (1981, Colorado). Palynology and deglaciation history of the central Labrador-Ungava peninsula.

Styan, W.B. (1981, U.B.C.). The sedimentology, petrography and geochemistry of some Fraser Delta peat deposits.

Todd, B.J. (1984, Dalhousie). Iceberg scouring on Saglek Bank Northern Labrador Shelf.

Veldhuyzen, H. (1982, McGill). Sources and transport of Late Quaternary sediments, Kavlesfin Trough, Labrador Shelf.

Villeneuve, P. (1981, UQAM). Étude de l'impact glaciaire sur la morphologie et la résistance du socle rocheux dans la région de Montréal.

Waters, P.L. (1979, Alberta). Postglacial Paleoenvironment of southern Alberta.

Williams, K.M. (1984, Colorado). Marine diatom assemblages from Baffin Bay and David Strait.

Wolcott, J.F. (1984, U.B.C.). The grain size gap in river bed gravels.

Annexe 5

Sélection d'ouvrages rédigés par des quaternaristes canadiens durant la décennie 1976-1985

Andrews, J.T., (éd.), 1985. Quaternary Environments: Eastern Canadian Arctic, Baffin Bay and West Greenland, George Allen and Unwin, Londres, 774 p.

----------, 1984. The Laurentide Ice Sheet: Evidence from the Eastern Canadian Arctic of its geometry, dynamics and history. University of Reading, Geographical Papers, No. 86, 61 p.

Bird, J.B., 1980. The Natural Landscapes of Canada, 2e éd., Wiley, Toronto, 260 p.

Canadian Soil Survey Committee 1978. The Canadian system of soil classification. Agriculture Canada Publication 1646. Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 164 p.

Chapman, L.J. and Putnam D.F., 1984. The Physiography of Southern Ontario, 3e éd., Comm. géol. Ont., Spec. vol. 2, 270 p.

Church, M. and Slaymaker, O. (éd.), 1985. Field and Theory: Lectures in Geocryology; University of British Columbia Press, 213 p.

Davidson-Arnott, R. et al. (éd.), 1982. Research in Glacial, Glacio-fluvial and Glacio-Lacustrine Systems. Dans Proceedings 6th Guelph Symposium on Geomorphology; University of Guelph, Geographical Publication no. 6, 319 p.

Eyles, N. (ed.), 1983. Glacial Geology; Pergamon, Toronto, 409 p.

French, H.M., 1976. The Periglacial Environment; Longman, Londres, 309 p. (2e édition sous presse).

Fulton, R.J. (ed.), 1984. Quaternary Stratigraphy of Canada – a Canadian Contribution to IGCP Project 24. Commission géologique du Canada Paper 84-10, 210 p.

Harington, C.R. (ed.), 1985. Climatic Change in Canada 5, Critical Periods in the Quaternary Climatic History of Northern North America. Musées nationaux du Canada, Musée national des sciences naturelles, Syllogeus No. 55, 479 p.

Johnston, G.H. (ed.), 1981. Permafrost. Wiley, Toronto, 540 p

Karrow, P.F. et Calkin, P.E. (eds.), 1985. Quaternary Evolution of the Great Lakes; Ass. Géol. Can. Spec. Publ. 30.

Lauriol, B., 1982. Géomorphologie quaternaire du sud de l'Ungava, Paléo-Québec, no. 15.

Legget, R.F. (éd.), 1976. Glacial Till; Société royale du Canada Publication no. 12, 412 p.

MacPherson, A.G. et MacPherson, J.B. (éd.), 1981. The Natural Environment of Newfoundland Past and Present; Memorial University of Newfoundland, St. Johns, 265 p.

Mahaney, W.C. (ed.), 1984. Quaternary Dating Methods; Elsevier, New York, 431 p.

----------, (ed.), 1981. Quaternary Paleoclimate; Geo-Abstracts, 464 p.

----------, (ed.), 1976. Quaternary Stratigraphy of North America; Dowden, Hutchinson et Ross; Stroudsburg, Pennsylvannia, 512 p.

Hillaire-Marcel, C. et Vincent, J-S, 1980. Stratigraphie de l'Holocène et évolution des lignes de rivage au sud-est de la baie d'Hudson, Canada; Paléo- Québec, no. 11.

McCann, S.B. (ed.), 1980. The Coastline of Canada; Commission géologique du Canada, Étude 80-10, 439 p.

Menzies, J., 1984. Drumlins: a bibliography; Geobooks, Norwich, 136 p.

Mollard, J.D. et Janes, J.R., 1984. Air Photo Interpretation and the Canadian Landscape; Énergie, Mines et Ressources, Ottawa, 415 p.

Morisset, P. et Payette, S. (eds.), 1983. Tree-line ecology. Dans Proceedings of the northern Quebec Tree-Line Conference; Université Laval, Coll. Nordiques no. 47, 188 p.

North, M.E.A., 1976. A Plant Geography of Alberta; University of Alberta Studies in Geography, no. 2, 147 p.

Occhietti, S., 1980. Le Quaternaire de la région de Trois-Rivières – Shawinigan, Québec; Paléo-Québec, no. 10.

Okuda, S., Netto, A., et Slaymaker, O. (eds.), 1983. Extensive Land Forming Events. Zeitschrift Fuer Gromorphologie Supp. BD. 46, 163 p.

Paterson, W.S.B., 1981. The Physics of Glaciers. Pergamon, Oxford, 380 p.

Prest, V.K., 1983. Canada's Heritage of Glacial Features. Commission géologique du Canada, Miscellaneous Report 28.

Radforth, N.W. and Brawner, C.O., 1976. Muskeg and the Northern Environment in Canada. University of Toronto Press, Toronto, 399 p.

Richard, P. 1981. Paléohytogéographie post-glaciaire en Ungava par l'analyse pollinique; Paléo-Québec, no. 13.

Ritchie, J.C., 1984. Past and Present Vegetation of the Far Northwest of Canada; University of Toronto Press, Toronto, 251 p.

Rutter, N.W., (ed.) 1985. Dating Methods of Pleistocene Deposits and their Problems; Geoscience Canada Reprint Series 2, 87 p.

Slaymaker, O. (ed.) 1981. High Mountains; Zeitschrift Fuer Geomorphologie Supp. BD 37, 147 p.

----------, Dunne, T. et Rapp, A. (eds.), 1980. Geomorphic Experiments on Hillslopes; Supp. BD. 35, 194 p.

----------, Rapp, A. et Dunne, T. (eds.) 1978. Field Instrumentation and Geomorphological Problems; Zeitschrift Fuer Geomorphologie Supp. BD. 29, 205 p.

Teller, J.T. et Clayton, L. (eds.), 1983. Glacial Lake Agassiz; Association géologique du Canada Paper 26, 451 p.

Tinkler, K.J., 1985. A Short History of Geomorphology; Croom Helm, Beckenham, 317 p.

Valentine, K.W.G., Sprout, P.N., Baker, T.E., et Larkulich, L.M., 1978. The Soil Landscapes of British Columbia, Resource Analysis Branch, Victoria, 197 p.

Vincent, J.S. et Dredge, L.A. (eds.), 1982. Numéro spécial en l'honneur du XIe congrès de l'INQUA; Géographie Physique et Quaternaire, v. XXXVI (1-2), 250 p.

Williams, P.J., 1982. The Surface of the Earth; Longman, Londres, 212 p.

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada